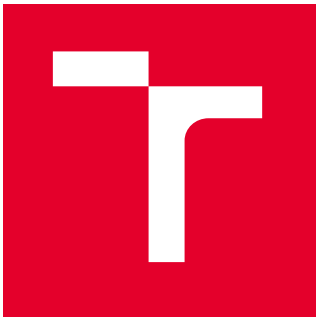


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA STARTOVACÍHO SEGMENTU PŘESNÝM STŘÍHÁNÍM

MANUFACTURING OF START SEGMENT BY FINEBLANKING TECHNOLOGY

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE — **Bc. Ondřej Tichoň**
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — **Ing. Eva Peterková, Ph.D.**
SUPERVISOR

BRNO 2023

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	**Bc. Ondřej Tichoň**
Studijní program:	Strojírenská technologie
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	**Ing. Eva Peterková, Ph.D.**
Akademický rok:	2022/23

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Výroba startovacího segmentu přesným stříháním

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh výroby startovacího segmentu motocyklu. Zadaná součást je opatřena ozubením a kruhovými otvory. Pro výrobu bude použita technologie přesného stříhání, jejíž princip bude rozebrán v úvodní části práce. Výstupem práce bude návrh postupu výroby zadané součásti, návrh tvářecího nástroje a volba vhodného stroje.

Cíle diplomové práce:

Provedení aktuální literární studie se zaměřením na technologii přesného stříhání.
Návrh postupu výroby a provedení technologických a kontrolních výpočtů.
Volba vhodného stroje.
Návrh tvářecího nástroje pro výrobu zadané součásti.
Technicko–ekonomické hodnocení navržené výroby.

Seznam doporučené literatury:

TSCHÄTSCH, Heinz. Metal forming practise: processes - machines - tools. New York: Springer-Verlag, c2006. ISBN 35-403-3216-2.

Handbuch der Umformtechnik: processes - machines - tools. New York: Springer, c1996. ISBN 35-406-1099-5.

SUCHY, Ivana. Handbook of die design: processes - machines - tools. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, c2006. ISBN 00-714-6271-6.

LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření: processes - machines - tools. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.

BIRZER, Franz. Forming and fineblanking: cost effective manufacture of accurate sheetmetal parts. Landsberg/Lech: Verlag Moderne Industrie, c1997. ISBN 34-789-3161-4.

NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. Brno: Vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-214-0401-9.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D. ředitel ústavu	doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D. děkan fakulty

ABSTRAKT

Práce se zabývá návrhem technologie výroby startovacího segmentu, který slouží k přenášení kroutícího momentu od startovací páky motocyklu. Součást je vyráběna z oceli 11 373 ve formě plechu o tloušťce 6 mm a výrobní série je stanovena na 60 000 kusů ročně. V rámci práce byla navržena inovace, která spočívá v zalisování hřídele do otvoru za studena, čímž se docílilo odstranění přidružené operace svařování a urychlení a zpřesnění výroby. Vzhledem k požadované přesnosti a velikosti série byla ke zhotovení startovacího segmentu zvolena metoda přesného stříhání s tlačnou hranou. Jako polotovar byly zvoleny svitky plechu, přičemž pro zajištění výrobní série je potřeba 19 svitků o průměru 1400 mm a jeden neúplný o průměru 1085 mm. Celková síla na vystřižení dvou součástí na jeden zdvih byla stanovena na 4680,4 kN. Vzhledem k dané síle a rozměrům plechu byl pro výrobu zvolen trojčinný hydraulický lis FB one 7000. Po provedení technologický a kontrolních výpočtů byl navržen nástroj, pro který byla rovněž vypracována technická dokumentace. Součástí práce je také technicko-ekonomické zhodnocení, kterým bylo zjištěno, že daná výroba se stává ziskovou při 34987 kusech. Tudíž lze vzhledem k velikosti výrobní série prohlásit, že výroba je zisková.

Klíčová slova

přesné stříhání, ocel 11 373, startovací segment, trojčinný hydraulický lis

ABSTRACT

The thesis deals with the design of the manufacturing technology of the starting segment, which is used to transmit the torque from the starting lever of the motorcycle. The part is made of steel 11 373 in the form of a sheet with a thickness of 6 mm, and the production series is set at 60,000 pieces per year. As part of the thesis, an innovation was proposed, which consists of cold pressing the shaft into the hole, and thereby eliminating the associated welding operation, speeding up production and making it more precise. Due to the required precision and the size of the series, a fine blanking was chosen for the production of the starting segment. Furthermore, coils of sheet metal were chosen as a semi-finished product, while 19 coils with a diameter of 1400 mm and one incomplete coil with a diameter of 1085 mm are needed to ensure the production series. The total force for cutting out two components in one stroke was determined to be 4680,4 kN. Due to the given strength and dimensions of the sheet metal, a triple-action hydraulic press FB one 7000 was chosen for production. The work also includes a technical-economic evaluation, through which it was found that the given production becomes profitable at 34987 pieces. Therefore, due to the size of the production series, it can be declared that the production is profitable.

Keywords

fine blanking, steel 11 373, starting segment, three-acting hydraulic press

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

TICHOŇ, Ondřej. *Výroba startovacího segmentu přesným stříháním* [online]. Brno, 2023. Dostupné z: https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/149245. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Eva Peterková.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Výroba startovacího segmentu přesným stříháním vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

V Brně, 26.5.2023

Ondřej Tichoň

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Evě Peterkové, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytla při vypracování diplomové práce. Dále bych rád poděkoval také své rodině a nejbližším za podporu v průběhu mého studia.

OBSAH

Zadání práce
Abstrakt
Bibliografická citace
Čestné prohlášení
Poděkování
Obsah
ÚVOD 9
1 Rozbor zadání 10
1.1 Variantní řešení výroby součásti 11
2 Technologie Přesného stříhání 14
2.1 Konvenční stříhání 15
2.2 Přesné stříhání s nátlačnou hranou 16
2.2.1 Princip přesného stříhání 17
2.2.2 Stanovení sil a práce 18
2.2.3 Střižná vůle a tlačná hrana 19
2.2.4 Stroje 21
2.2.5 Nástroje 23
2.2.6 Technologičnost 26
2.2.7 Využití materiálu 29
2.2.8 Rozměrová přesnost a drsnost povrchu 32
3 Návrh ŘeŠení 36
3.1 Nástřihový plán 38
3.2 Technologické parametry 41
3.2.1 Funkční rozměry střižníků a střižnice 44
3.2.2 Kontrola střižníku a střižnice 47
3.3 Volba stroje 48
3.4 Návrh nástroje 49
4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ 53
4.1 Přímé náklady 54
4.1.1 Náklady na materiál 54
4.1.2 Přímé mzdy 55
4.1.3 Ostatní přímé náklady 56
4.2 Nepřímé náklady 56
4.2.1 Náklady na nástroj 56
4.2.2 Výrobní režie 57
4.2.3 Správní režie 57
4.3 Celkové náklady a zisk 58
4.4 Stanovení bodu zvratu 58
ZÁVĚR 60
Seznam použitých zdrojů
Seznam použitých symbolů a zkratek
Seznam příloh
Seznam výkresů

ÚVOD

V dnešní době rychlého poznávání světa dochází k významnému rozvoji techniky, která je úzce spjata s přírodou, a tedy i s matematikou, fyzikou a chemií. Strojírenství má v ekonomice České republiky zvláštní postavení, neboť pro ostatní obory mimo jiné zajišťuje moderní a výkonné stroje, jež jsou pak využívány ve všech odvětvích hospodářství. V současnosti je kladen důraz na mechanizaci a automatizaci výrobních procesů a na dosažení co možná největší produktivity práce, a tak důležitost tohoto oboru stále nabývá na síle. Jednu z mnoha důležitých úloh v rozvoji strojírenství sehrává technologie. Pracuje totiž s informacemi o materiálu a jeho zkoušení, o nástrojích a strojích, prostředcích a metodách používaných při zpracování kovů a o ostatních látkách vhodných ke konstrukci strojů, přístrojů a zařízení. Z hlediska zpracování se dá rozdělit na technologii výroby kovů a strojírenskou techlogii. [1]

Jedním z hlavních představitelů strojírenské technologie je tváření, které je vysoce produktivní a hospodárné, a to z důvodu nízké produkce odpadu, která činí okolo 5 až 10 % materiálu. Při porovnání s dalším představitelem – obráběním, kde je produkce odpadu okolo 20 až 40 %, lze říci, že úspora materiálu v případě tváření je významnější. V podstatě se jedná se o mechanické zpracování kovů, při kterém se působením vnějších sil mění tvar polotovaru bez jeho porušení. Klasifikuje se podle teploty na tváření za tepla a za studena. Dále se člení podle převládajícího průběhu deformace na plošné a objemové. Do plošného se řadí například technologie stříhání, ohýbání a tažení. Výchozím polotovarem bývá většinou plech ve formě pásu nebo tabule, z něhož se kombinací různých technologií dosahuje požadovaného tvaru součásti. Jelikož jsou výrobky zhotovovány na výkonných strojních zařízeních, bývají přesné, pevné a lehké. Příklady různých součástí zhotovených plošným tvářením je možné vidět na obr. 1. [1; 2]

Obr. 1 Příklady součástí vyrobené plošným tvářením [3].

1 ROZBOR ZADÁNÍ

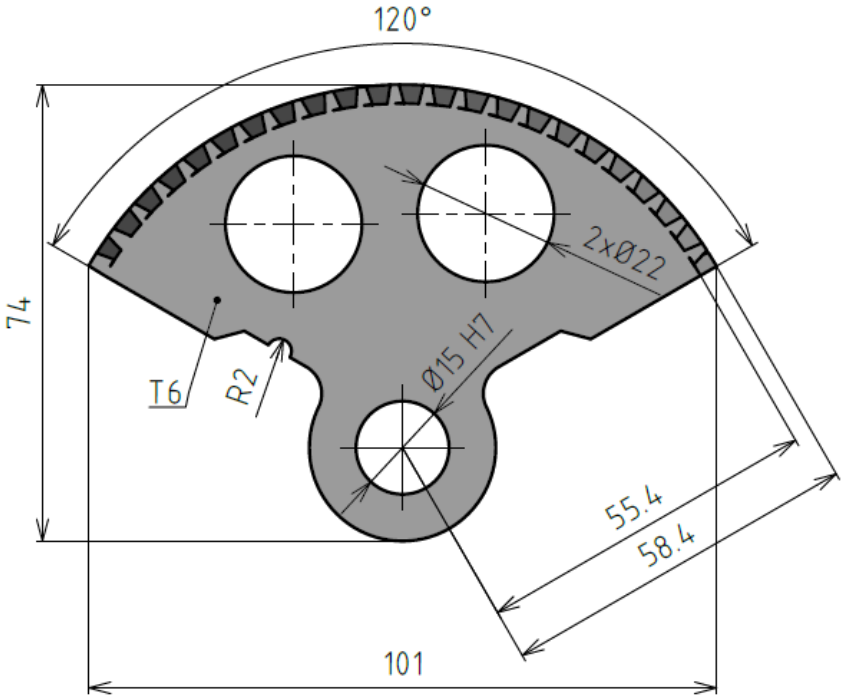
Součástí, která byla zadána, je startovací segment (obr. 2), jenž je dílem sestavy motocyklu (obr. 3). Jeho stěžejní funkcí, kterou plní, je umožnění nastartování spalovacího motoru. Jako takový je součástí převodu mezi startovací pákou a klikovým hřídelem, přičemž páka je v rámci sestavy umístěna ergonomicky tak, aby jezdec mohl motocykl nastartovat. V současné době je u většiny typů motocyklů daný princip startování již téměř plně nahrazen elektrickým. Své využití však přesto stále v některých případech nachází u mopedů a skútrů, v nichž jsou kapacity baterií mnohem menší, a tudíž se častěji vybíjejí. Z toho důvodu se lze u těchto případů setkat s oběma principy, a to ve společné kombinaci, kdy startér slouží jako záložní nástroj pro případy, kdy je baterie skútru či mopedu zcela vybita. Výrobní množství bylo stanoveno na 60 000 ks/rok, a to s ohledem na skutečnost, že se daný segment používá u mnoha různých modelů skútrů a mopedů. [4]

V současnosti bývá do otvoru na součásti vložena hřídel, která je následně přivařena. V rámci řešení diplomové práce je navržena inovace, která spočívá v zaliosování hřídele do otvoru za studena. Hlavním cílem této inovace je odstranění přidružené operace svařování a urychlení a zpřesnění výroby.

Obr. 2 Startovací segment [5].

Obr. 3 Sestava motocyklu [6, 7].

Jak je patrné z obr. 4, největšími rozměry součásti jsou 101 a 74 mm, přičemž tloušťka plechu se rovná 6 mm. Tvar součásti je z jedné třetiny tvořen kružnicí o průměru 116,8 mm. Po jejím obvodu je vyhotoveno ozubení s šikmými zuby. Toto ozubení slouží k přenosu kroutícího momentu na další součásti. Součást je odlehčena pomocí dvou vystřižených otvorů o průměru 22 mm. Dále je zde rovněž otvor o průměru 15 mm s předepsanou přesností H7, do kterého bude zalisována hřídel za studena. Jedná se o uložení H7/p6, konkrétněji o uložení s přesahem, které zabezpečuje vzájemnou nepohyblivost součástí [8]. Jako další prvek jsou zde vytvořeny drážky, přičemž do jedné z nich je vystřižen půlkruhový otvor, o průměru 4 mm. Tento otvor zajišťuje polohu pružiny, kterou je nutné natáhnout k tomu, aby byla zajištěna poloha dané součásti. Ostatní rozměry jsou tolerovány v souladu s normou pro netolerované rozměry ČSN ISO 2768-1 a pro střední stupeň přesnosti, podle níž je tolerance pro hlavní rozměry stanovena na ± 0,3 mm [8].



Obr. 4 Zadaná součást.

Vzhledem k vhodnosti jeho použití byl zvolen ocelový plech a s přihlédnutím k ceně materiálu byla zvolena ocel 11 373.0, což je konstrukční ocel [9]. Její chemické složení je uvedeno v tab. 1 a tab. 2 obsahuje jí vlastní mechanické vlastnosti.

Tab. 1 Chemické složení oceli 11 373.0 [10].

Materiál	C [%]	P [%]	S [%]	N [%]
11 373	max 0,17	max 0,045	max 0,045	max. 0,007

Tab. 2 Mechanické vlastnosti oceli 11 373.0 [9; 10].

Materiál	R_e [MPa]	R_m [MPa]	A_5 [%]	KV [J]
11 373	186-235	340-470	24	27

1.1 Variantní řešení výroby součásti

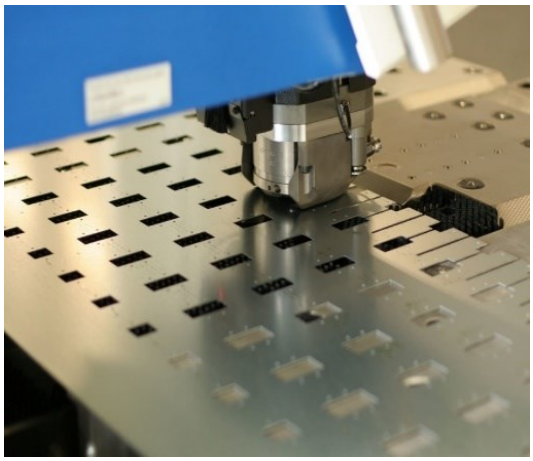
Při uvažování o vhodné výrobní technologii je třeba vzít v potaz několik rozhodujících faktorů, mezi něž se řadí například velikost součásti, její tvar a materiál, sériovost výroby nebo tvářecí operace, které na ni bezprostředně navazují. Zadanou součást je možné zhotovit jako odlitek nebo pomocí 3D tisku, avšak při zadaném počtu kusů se dané metody jeví jako neefektivní.

Pro zhotovení tvaru součásti je možné uvažovat několik následujících technologií:

- Plazmové řezání – obráběný materiál je při něm odtavován, odpařován a rozprašován paprskem plazmy vystupující z trysky vysokou rychlostí (obr. 5). Plazma dosahuje teploty 10 000 – 30 000 °C. Tato metoda se používá pro řezání různých druhů materiálů včetně těžkoobrobitelných ocelí. To ji činí vhodnou také pro ocel 11 373. Hloubka tepelně ovlivněné oblasti se pohybuje od 0,25 do 1,25 mm, což se v případě tloušťky plechu 6 mm jeví jako nevhodné. Dosažené přesnosti odpovídají hrubovacím operacím, a proto toleranci díry H7 není možné dosáhnout. Předností dané technologie jsou krátké časy pro zhotovení řezu. Plazmový plyn je ovšem drahý a značně tak navyšuje i cenu součásti. [11]
- CNC děrování – na zavedeném plechu se zhotoví požadované tvary pomocí nástrojů, které jsou uloženy v zásobníku, přičemž celý proces je řízen počítačově (obr. 6). Děrovat

lze širokou paletu materiálů, a zadaná ocel je tak pro tuto metodu vhodná. Tloušťka by se měla pohybovat od 0,5 mm do 6 mm, což odpovídá, a součást tak může být děrována na CNC lisu. Jedná se o efektivní a produktivní technologii, ale vzhledem k tvaru součásti, respektive ozubení a požadovanému počtu kusů se zde nejedná o vhodnou volbu. [12]

Obr. 5 Plazmové řezání [13].



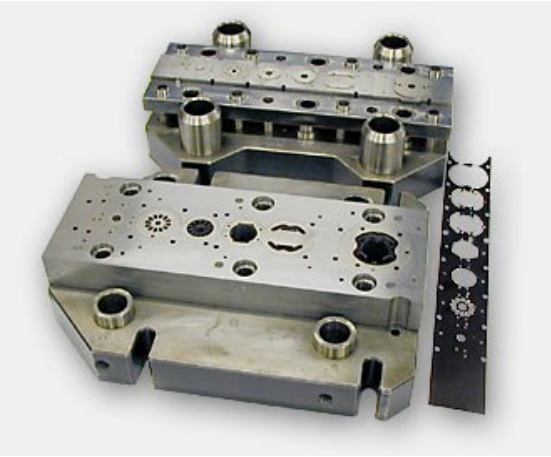
Obr. 6 CNC děrování [14].

- Vodní paprsek – jedná se o dělení materiálu pomocí paprsku vody, který vzniká v řezací hlavě, jež je zakončena tryskou (obr. 7). Do řezací hlavy je voda dopravována pomocí vysokotlakého čerpadla. Danou technologii lze použít pro řadu různých materiálů, do nichž patří i ocel 11 373. Jelikož pohyb řezací hlavy je řízen počítačem, je možné provádět i tvarově složité řezy se standartní přesností ± 0,1 mm. Požadovaný tvar by tedy byl možný zhotovit. Problém spočívající v nedostatečné přesnosti by však nastal u tolerované díry H7 a ozubení. Další předností technologie je, že se vždy jedná o studený řez a řezná hrana není tepelně ovlivněna. Při procesu přichází daný materiál do kontaktu s vodou, a přestože by v daném případě tento fakt danou součást nijak neovlivnil, technologie je s ohledem na výše uvedené nevyhovující daným požadavkům. [15]
- Laserové řezání – jeho podstatou je fokusace elektromagnetického záření viditelného světla do ohniska, kde dochází k tavení až k sublimaci (obr. 8). Metoda je vhodná pro všechny typy materiálu, a to i pro těžkoobrobitelné jako je titan. V daném případě se jedná o konstrukční ocel, a ta by měla u laseru fungujícího na bázi CO_2 dosahovat 20 mm, což je pro danou součást vyhovující. Stejně jako u řezání plazmou, i zde se vyskytne tepelně ovlivněná oblast, která ale dosahuje pouze velikosti 0,05 – 0,2 mm, což je vhodnější než u technologie plazmového řezání. Problém by však nastal u dodržení tolerovaného rozměru H7 a ozubení. Zařízení je nákladné a bylo by nutné zvážit ekonomičnost jeho pořízení nebo případné kooperace. [11]

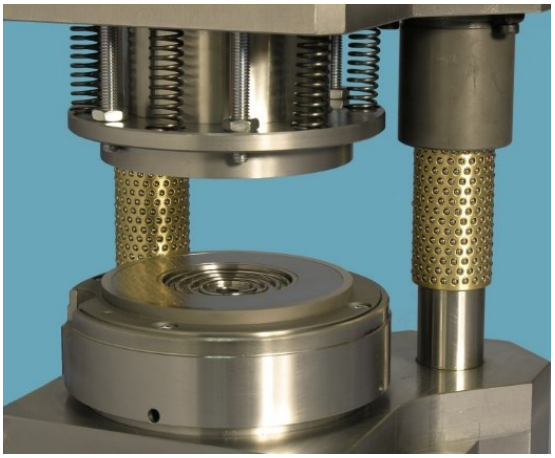
Obr. 7 Řezání vodním paprsek [16].

Obr. 8 Řezání laserem [17].

- Vystřihování v postupovém nástroji – dochází k dělení materiálu mezi dvěma břity, kde se součást zhotovuje postupně po krocích (obr. 9). Hodnota drsnosti střižných ploch se pohybuje od 3,2 do 6,3 µm, což však nehraje roli, neboť není kladen požadavek na drsnost. Využití má v sériové a hromadné výrobě z důvodu vysokých pořizovacích nákladů na daný nástroj. Pro požadované výrobní množství se jeví jako vhodná volba. Běžnou konstrukcí nástroje u výstřižků o velikosti do 150 mm je možné dosáhnout přesnosti IT12 až IT 14 a při využití přesných střihadel s vodícími sloupky je možné dosáhnout IT 9 až IT 11. Součást má rozměry 101 mm a 74 mm, tudíž splňuje podmínku velikosti, ale daná přesnost není dostatečná pro průměr 15 H7 a jemné ozubení by bylo nutné zhotovit dodatečně třískovým obráběním. [2]
- Přesné vystřihování – vychází z běžného stříhání, ale jedná se o způsob, při kterém neprobíhá samovolné oddělování materiálu. Výsledná střižná plocha je velmi kvalitní, rovná, hladká a kolmá k ploše součásti (obr. 10). Dosahuje přesnosti IT 6 až IT8, což splňuje požadovanou přesnost H7, a drsnosti povrchu 0,4 až 1,6 µm, na kterou ovšem není kladen požadavek. V případě ozubené části, která je tvořena šikmými zuby, není možné dané ozubení zhotovit přesným stříháním a je nutné jej zhotovovat dodatečnou operací obráběním. Využití má hlavně v sériové výrobě, jelikož se jedná o drahý nástroj z důvodu své konstrukce a přesnosti. [18]



Obr. 9 Postupový střižný nástroj [19].



Obr. 10 Nástroj pro přesné stříhání [20].

Po uvážení rozhodujících faktorů, jimiž byly zejména rozměry a tvar součásti, požadované výrobní množství a požadavky na přesnost, bylo vyhodnoceno, že se nejoptimálnějším řešením jeví využití technologie přesného vystřihování s využitím trojčinné lisu, na niž bude zaměřená teoretická i praktická část práce.

2 TECHNOLOGIE PŘESNÉHO STŘÍHÁNÍ

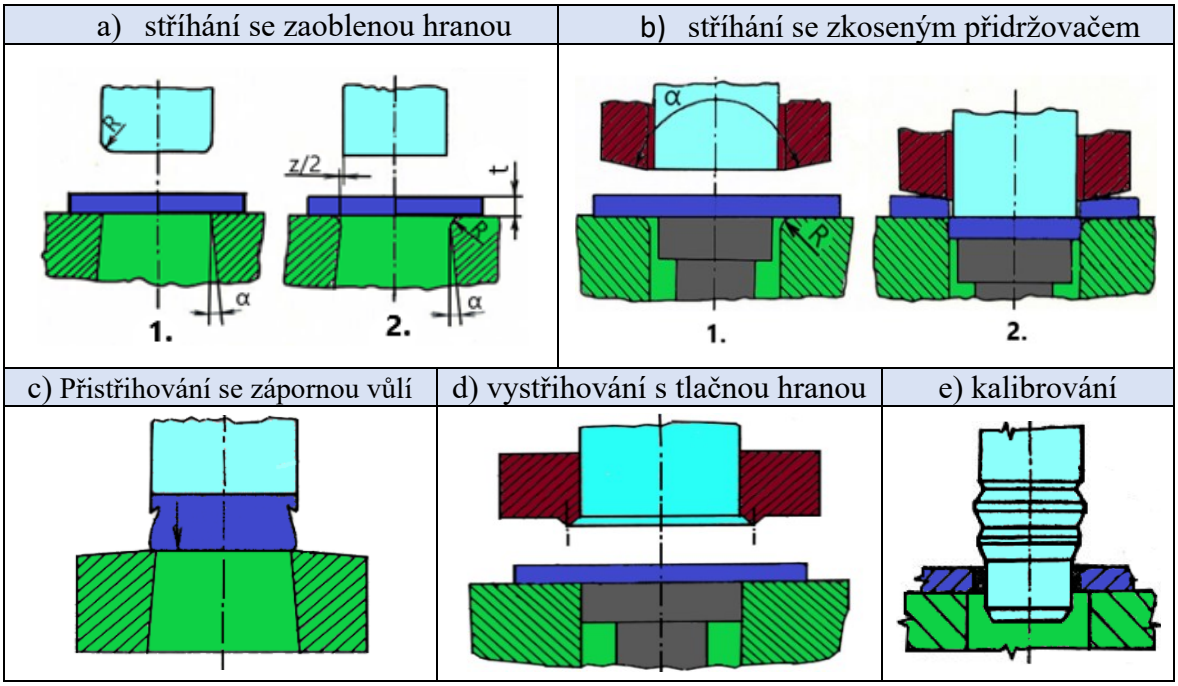
Jedná se o souhrn metod stříhání plechů a pásů ve střihadlech, jimiž lze dosáhnout kvalitní, hladké střižné plochy kolmé k rovině plechu a rozměrové přesnosti vyrobených součástí v rozmezí IT6 až IT9. Stupeň přesnosti IT6 je pro tloušťky plechu 0,5 až 1 mm a IT9 pro tloušťky nad 6 mm. Dosažitelná drsnost střižné plochy Ra je 0,4 až 1,6 μm a její kolmost do tloušťky plechu 4 mm je v rozmezí 0,01 až 0,02 mm. Typickou vyráběnou součástí jsou ozubená kola (obr. 11) s moduly 0,2 až 10 mm a o tloušťce plechu 1 až 10 mm. Ozubené hřebeny a další přesné díly (obr. 12) jako jsou například západky do dveří automobilu nepotřebují po vystřihnutí dokončovací operaci. Další typickou součástí jsou součásti s mnoha otvory. [21; 22]

Obr. 11 Ozubené kolo [23].

Obr. 12 Přesné výstřižky [24].

Ke zhotovení součástí dochází většinou v jedné nebo ve dvou operacích. V případě jedné operace se jedná o stříhání:

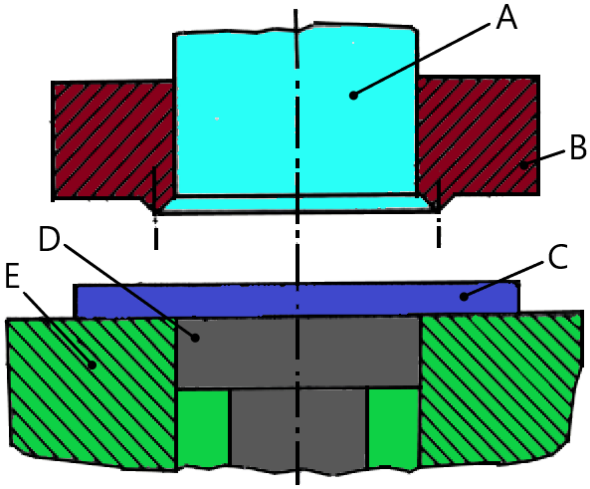
- se zaoblenou hranou (obr. 13a),
- se zkoseným přidržovačem (obr. 13b),
- vnějších obrysů s kladnou vůlí nebo zápornou vůlí, tedy přistřihování (obr. 13c),
- s tlačnou hranou (obr. 13d),
- kalibrování (obr. 13e).



Obr. 13 Možné metody přesného stříhání [21; 26].

Je-li součást zhotovována ve dvou operacích, v první z nich se zhotoví výstřižek v rozměru, který je zvětšen o hodnotu přídavku. Ve druhé operaci se pak pomocí přistřihování, popřípadě kalibrování, zhotoví výstřižek s požadovanými rozměry. Přistřihováním se rozumí oddělování malého množství kovu ze střižné plochy s cílem dosažení větších přesností, kvality povrchu, zpevnění a vnitřních pnutí. Technologie není úplně vhodná pro velkosériovou výrobu a je vhodné zvolit směr přistřihovaní tak, aby byl shodný se směrem předchozího stříhání. Kalibrování je možné provést jak v případě vnějších obrysů výstřižku, tak i v případě otvoru, přičemž u něho se využívá kalibrovací trn. Jestliže je porovnán s přistřihováním, lze říci, že se jedná o méně přesnou metodu, což je zapříčiněno odpružením a mimo jiné je zapotřebí také větší síla. [21; 25]

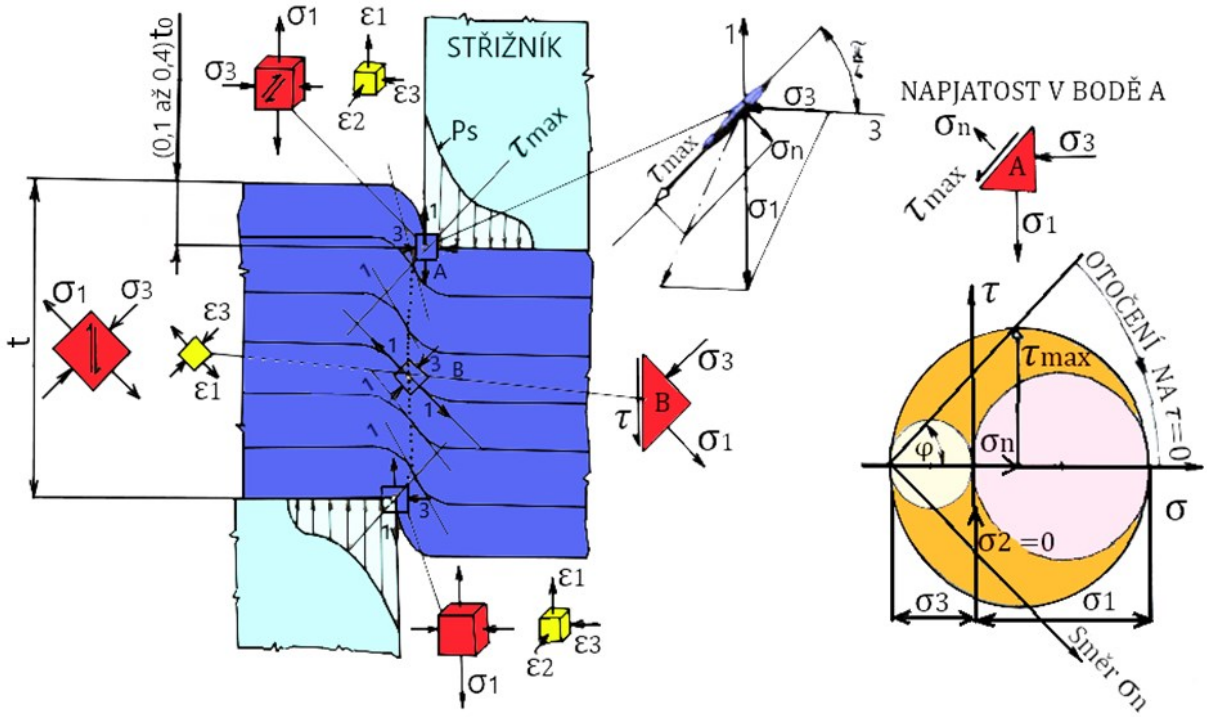
Jednou z nejvíce využívaných technologií ve strojírenské praxi je přesné stříhání s nátlačnou hranou. Nástroj, jenž se pro přesné stříhání využívá, je znázorněn na obr. 14. Skládá se ze čtyř funkčních dílů, jež musí být dokonale funkčně sladěny. Jde o střižník **A**, přidržovač s tlačnou hranou **B**, vyhazovač **D** a střižnici **E**. Stříhaný materiál **C** prochází nástrojem, ve kterém je na počátku sevřen mezi přidržovač a střižnici. Tím je docíleno toho, že tlačná hrana je vtlačena do materiálu ještě před samotným střihem. Její poloha je navržena mimo křivku střihu a zároveň střižník a vyhazovač svírají vnitřní část materiálu. Materiál se při vystřihování neprohne, přičemž nátlačná hrana zachycuje radiální složku pružení, která vzniká v důsledku plastické deformace. Plastické vlastnosti kovů závisí na stavu napjatosti a obecně platí, že čím větší je podíl tlakových napětí, tím větší je schopnost materiálu se plasticky deformovat. V oblasti střihu vzniká tříosá tlaková napjatost, která má za následek to, že při přesném vystřihování se pásmo plastického střihu rozšiřuje přes celou tloušťku materiálu. Z pohledu rozložení hlavních napětí se jedná o nejvýhodnější oblast. Střižná vůle mezi střižníkem a střižnicí bývá přibližně 0,005 tloušťky plechu. [26; 27]



Obr. 14 Schéma nástroje pro přesné stříhání [26].

2.1 Konvenční stříhání

Pro účely lepšího porozumění tomu, jakou roli hraje nátlačná hrana, je na místě vysvětlit, co se děje s materiálem při konvenčním stříhání po uzavřené křivce. Při operacích vystřihování a děrování je působící ohybový moment navenek vyvážen, nicméně i přesto může dojít k nežádoucímu trvalému přetvoření při protlačení výstřižku v pružně svírané střižné ploše. Materiál mezi střižnými hranami je vytlačován do stran, v důsledku čehož je uvolňováno místo vnikajícím břitům, a zároveň je natahován. Dále se mezi břity také zmenšuje tloušťka materiálu. Podélné vrstvy, na obr. 15 prezentované vrstevnicemi, se prodlužují a výrazně mění křivost. [28]



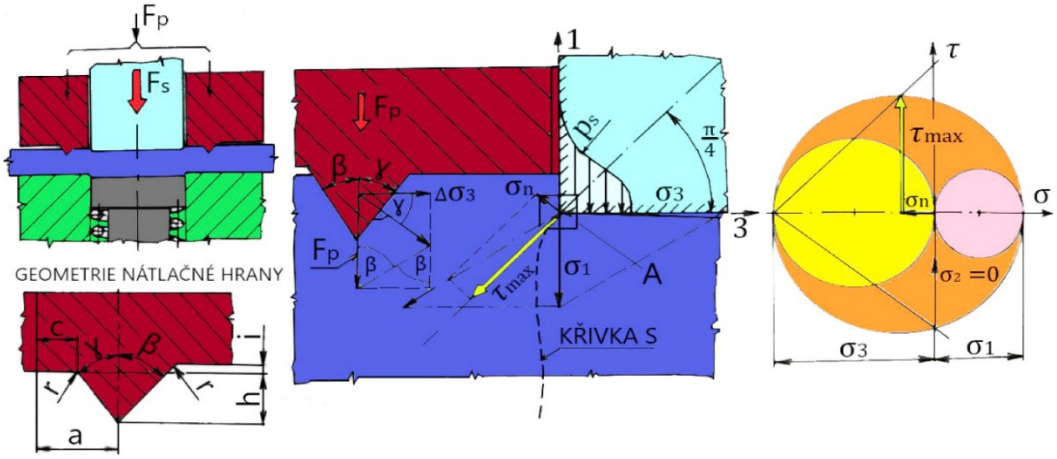
Obr. 15 Schéma napjatosti a přetvoření při běžném uzavřeném stříhání [28].

Těsně u střižné hrany v bodě **A** je největší tahové hlavní napětí $\boldsymbol{\sigma_1}$ a tlakové hlavní napětí $\boldsymbol{\sigma_3}$ dle praktických zkoušek odpovídá přibližně polovině hodnoty $\boldsymbol{\sigma_1}$. Jedná-li se o volné stříhání plechů větších tlouštěk, je možné uvažovat přibližně rovinný stav napjatosti, nicméně v bodě **A** je prostorový stav přetvoření. Dle obr. 15, z vektorového součtu složek hlavních napětí $\boldsymbol{\sigma_1}$ a $\boldsymbol{\sigma_3}$ v bodě **A** a z Mohrových kružnic napětí lze vidět, že kolmo na rovinu maximálního smykového napětí $\boldsymbol{\tau_{max}}$ působí kladná normálová složka $\boldsymbol{\sigma_n}$, která se podílí na rozevírání trhlin při jejich šíření po nástřihu. V důsledku toho, že je zde kladná hodnota normálového napětí, je výsledkem typická střižná plocha ve tvaru S s poměrně velkou oblastí lomu. Nedochází zde k rozšíření plastického střihu přes celou tloušťku plechu. Esovitý tvar této plochy vzniká natočením roviny $\boldsymbol{\tau_{max}}$ vlivem změny orientace křivosti vrstevnic plechu způsobené zatlačováním budoucího výstřižku střižníkem do otvoru střižnice. V bodě **B** platí, že $\boldsymbol{\sigma_1}$ se rovná absolutní hodnotě $-\boldsymbol{\sigma_3}$ a že jsou splněny podmínky prostého smyku, přičemž $\boldsymbol{\sigma_n}$ má nulovou hodnotu. Je tomu tak z důvodu změny poměru hlavních napětí $\boldsymbol{\sigma_1}$ a $\boldsymbol{\sigma_3}$, který se se směrem do středu mění. [28]

Součásti vyrobené konvenčním stříháním mají v praxi běžné využití tam, kde nejsou kladeny vysoké nároky na tvarovou a rozměrovou přesnost. Pro případy, kde daná přesnost požadována je, například automobilový či spotřební průmysl, a dále zdravotnická, měřící, regulační, čerpací a řídící technika, je potřeba zlepšit kvalitu střižné plochy, což právě umožňuje využití nátlačné hrany. [26]

2.2 Přesné stříhání s nátlačnou hranou

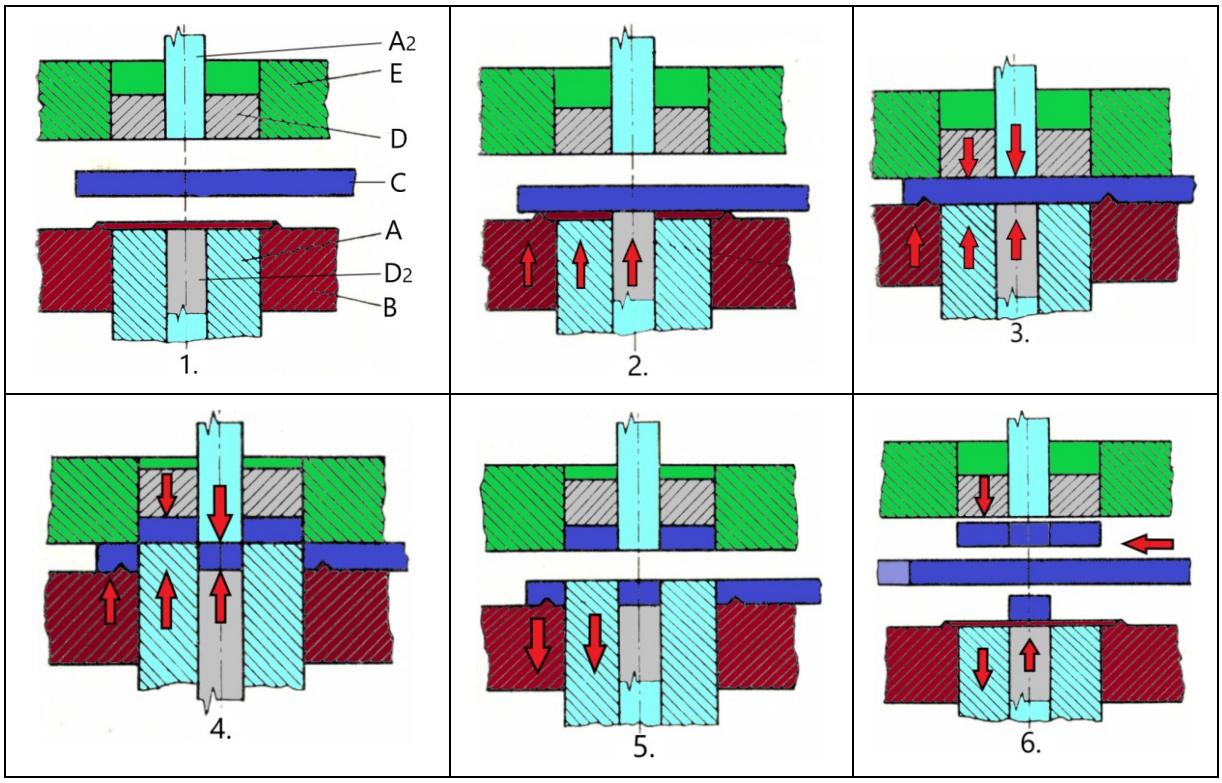
Při porovnání konvenčního stříhání se stříháním přesným je možné konstatovat, že při přesném je rozdílný stav napjatosti, a to z důvodu použití přidržovače s nátlačnou hranou, jak je patrné z obr. 16. Tlačná hrana po zatlačení do plechu vytvoří přídavné tlakové napětí $\Delta\boldsymbol{\sigma_3}$, jež v rovinné napjatosti uzavřeného střihu významně změní poměry napětí. Výsledkem je tak záporná hodnota složky normálového napětí $-\boldsymbol{\sigma_n}$, která uzavírá vznikající trhliny a brání jim v jejich šíření ve směru $\boldsymbol{\tau_{max}}$. Následkem je pak vznik tzv. zadržení lomu, díky němuž se zvýší kritické přetvoření, plastický střih se rozšíří na celou tloušťku plechu a vlastní střižná síla se sníží. [28]



Obr. 16 Schéma přesného uzavřeného stříhání [28].

2.2.1 Princip přesného stříhání

Pro přiblížení problematiky přesného stříhání bude popsán postup vystřižení kruhové podložky na trojčinném lisu se spodním pohonem dle obr. 17, který lze rozdělit do jednotlivých fází:



Obr. 17 Schéma postupu při přesném stříhání [26].

- První fáze je tzv. výchozí fází, přičemž funkční části nástroje jsou ve výchozí rovině a stříhaný polotovar **C** je mezi horní a spodní částí nástroje.
- Ve druhé fázi se beran lisu posouvá nahoru, ovšem polotovar **C** je tlačen tlačnou hranou na přidržovači **B**.
- Třetí fáze odpovídá začátku střihu, kdy do polotovaru je zalisovaná tlačná hrana. Navíc je sevřen mezi střižnicí **E** a přidržovačem **B** a střední část je sevřena mezi střižníkem **A** a vyhazovačem **D**, který působí silou a klade odpor působícímu střižníku.
- Další je fáze, kdy je ukončen střih tím, že součást je vystřižena a zůstává ve střižnici.

- Následně je nástroj rozevřen a prostřižený materiál je uvolněn pohybem spodní části nástroje směrem dolů.
- Nakonec je pomocí vyhazovače, dle konstrukce nástroje i střižníku, vyhozen výstřižek spolu s odpadem z horní i spodní části nástroje. Z pracovního prostoru lisu jsou odstraněny za pomocí stlačeného vzduchu.

2.2.2 Stanovení sil a práce

Celkovou sílu tvoří tři složky – vlastní střižná, přidržovací a síla vyhazovače. Poslední zmíněnou přemáhá střižník a tato brání předčasnému dolomení výstřižku. S ohledem na druh a tloušťku stříhaného materiálu a také na tvar součásti se stanoví velikosti sil. Přičemž je nutné dbát na to, aby byly samostatně nastavitelné a jejich počátek a konec působení byl různý. [28; 29]

Celková síla se poté stanoví jako [29]:

$$F_c = \mathrm{F}_s + F_p + F_v, \tag{2.1}$$

kde: F_s – střižná síla [N], kterou je možné stanovit dle [21]:

$$\mathrm{F}_s = \mathrm{S} \cdot \mathrm{n} \cdot \tau_s = l \cdot t \cdot \mathrm{n} \cdot \tau_s, \tag{2.2}$$

kde: S – střižná plocha [mm^2],
n – součinitel otupení [-]; pohybuje se v hodnotách (1 až 1,3) [28],
l - délka křivky střihu [mm],
t – tloušťka plechu [mm],
τ_s – střižný odpor [MPa], který je možné vyjádřit [28]:

$$\tau_s = 0{,}77 \cdot R_m, \tag{2.3}$$

kde: R_m – mez pevnosti v tahu [MPa],

$\mathrm{F_p}$ – síla přidržovače [N], která se stanoví jako [28]:

$$F_p = \mathrm{S}_p \cdot \mathrm{R}_e = \mathrm{L}_h \cdot \mathrm{h} \cdot (\mathrm{tg}\gamma + \mathrm{tg}\beta) \cdot \mathrm{R}_e, \tag{2.4}$$

kde: L_h - délka nátlačné hrany [mm],
h – výška nátlačné hrany [mm],
γ, β – úhly nátlačné hrany vycházející z geometrie [°],
R_e – mez kluzu [MPa].

$\mathrm{F_v}$ – síla vyhazovače [N], která se vyjádří jako [29]:

$$F_v = S_v \cdot p, \tag{2.5}$$

kde: p – měrný tlak [MPa], nabývá hodnot (30 až 70 MPa),
S_v – plocha výstřižku [mm^2].

Jedná-li se o střižnou sílu, je myšlena síla na střižníku, která vykonává vlastní střižnou práci. V případě síly na přidržovači, jde o sílu, jenž způsobuje zatlačení tlačné hrany do stříhaného materiálu, čímž se docílí požadovaného stavu napjatosti v místě střihu. Vyvození tlaku proti střižné síle zajišťuje síla na vyhazovači a spolu dané síly svírají materiál uvnitř křivky střihu. [29]

Celková práce potom odpovídá součtu prací jednotlivých složek, a tudíž [26]:

$$A_c = A_s + A_p + A_v, \tag{2.6}$$

kde: A_s – střižná práce [J], která odpovídá [26]:

$$A_s = \frac{0{,}48 \cdot l \cdot t^2 \cdot R_m}{1000}, \tag{2.7}$$

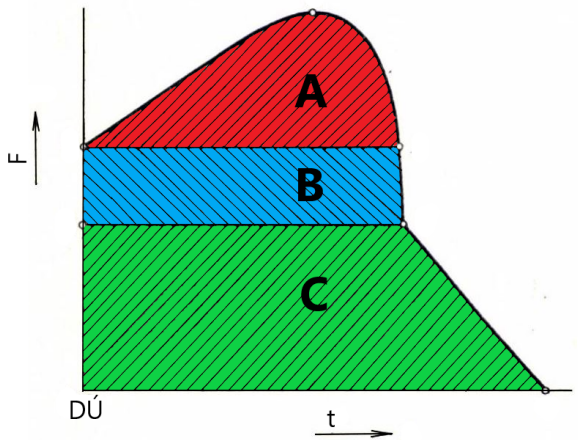
A_p – práce přidržovače [J], se stanoví jako [26]:

$$A_p = \frac{2 \cdot R_m \cdot \mathrm{L}_h \cdot h}{1000}, \tag{2.8}$$

A_v – práce vyhazovače [J] se vyjádří jako [26]:

$$A_v = \frac{S_v \cdot p \cdot t}{1000}. \tag{2.9}$$

Průběh síly v závislosti na dráze spolu se znázorněním jednotlivých složek práce je uveden na obr. 18. Plocha **A** představuje spotřebovanou střižnou práci. Plocha **B** odpovídá práci potřebné pro zatlačení tlačné hrany do materiálu a plocha **C** práci vynaložené k překonání síly vyhazovače. [26]



Obr. 18 Celková práce při přesném vystřihování [26].

2.2.3 Střižná vůle a tlačná hrana

Rozdílem rozměrů mezi pracovními částmi, tedy střižníku a střižnice, je střižná vůle, která má dopad na jakost střižné plochy a velikost střižné síly, jež ovlivňuje míru opotřebení nástroje. Velikost střižné vůle odpovídá dvojnásobku střižné mezery **z**, což je jednostranný rozdíl. Aby se předešlo vzniku vad a ostřin, musí být naprosto stejná a rovnoměrná na všech místech. Ovlivňuje ji mnoho činitelů, ale hlavním je materiál a jeho tloušťka. Dalšími faktory, které je nutné zohlednit, je otupení a zaoblení břitů. Dle rozměrů finálního výstřižku se stanovuje velikost, a to na úkor střižníku nebo střižnice. Při vystřihování se volí střižná vůle na úkor střižníku a při děrování na úkor střižnice. Při porovnání přesného stříhání s konvenčním hodnota střižné vůle bývá desetkrát menší, přičemž obecně platí, že střižná mezera je rovna přibližně 0,5 % tloušťky materiálu. Pro výpočty lze však použít i přesnějších vzorců. [29; 30; 26]

V závislosti na střižné mezeře se vyjádří jako [21]:

$$v = 2 \cdot z, \tag{2.10}$$

kde: z – střižná mezera [mm].

V případě, kdy t ≤ 3 mm, potom [21]:

$$z = c \cdot t \cdot 0{,}32 \cdot \sqrt{\tau_s}\,, \tag{2.11}$$

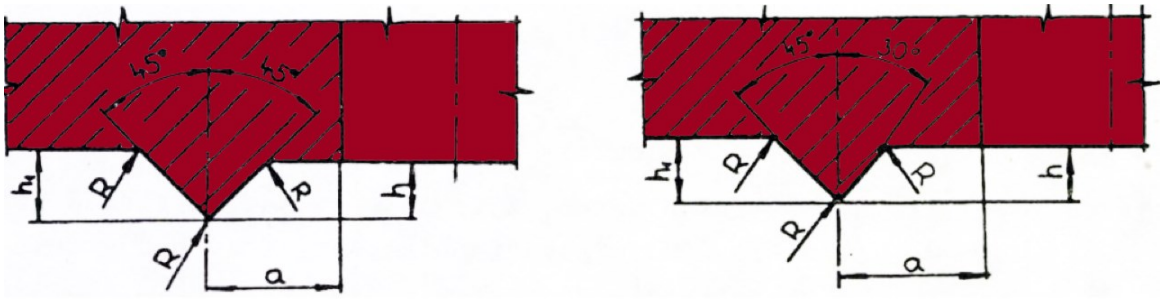
kde: c – součinitel závislý na druhu stříhání, kdy pro přesné stříhání běžných ocelí odpovídá $7 \cdot 10^{-4}$

Je-li hodnota plechu t > 3 mm, potom [21]:

$$z = (1{,}5 \cdot c \cdot t - 0{,}0015) \cdot 0{,}32 \cdot \sqrt{\tau_s}. \tag{2.12}$$

Významným činitelem při procesu je tlačná hrana, jež se vtlačuje po celém obrysu střihu do materiálu, a to ještě před samotným střihem. Její rozměry a geometrie, viz obr. 19, jsou navrženy s ohledem na vlastnosti a tloušťku materiálu. Kvalitu střižné plochy a životnost nástroje ovlivňuje tvar, poloha a rozměry tlačné hrany. Účinek tlačné hrany je menší v případě,

kdy se zvětšuje vzdálenost od křivky střihu, s čímž vzrůstá i spotřeba materiálu. Je-li tomu naopak a vzdálenost od křivky střihu je malá, účinek tlačné hrany je omezen a tím je snížena i kvalita střižné plochy. Tlačná hrana se vyrábí pro tenčí plechy na přidržovači anebo na střižnici. Je-li tloušťka plechu větší než 4 mm, je tlačná hrana vyrobena jak na přidržovači, tak i na střižnici. V případě stříhání ozubených kol, segmentů nebo podobných dílců s ostrými úhly lze užít dvou protilehlých hran i při menších tloušťkách plechu. [29; 26]



Obr. 19 Tvar tlačné hrany [29].

Výška tlačné hrany se volí podle kvality a tloušťky stříhaného plechu, pro méně tvárné materiály platí [29]:

$$h = \frac{1}{6} \cdot t, \tag{2.13}$$

a pro tvárné materiály platí, že [29]:

$$h = \frac{1}{3} \cdot t. \tag{2.14}$$

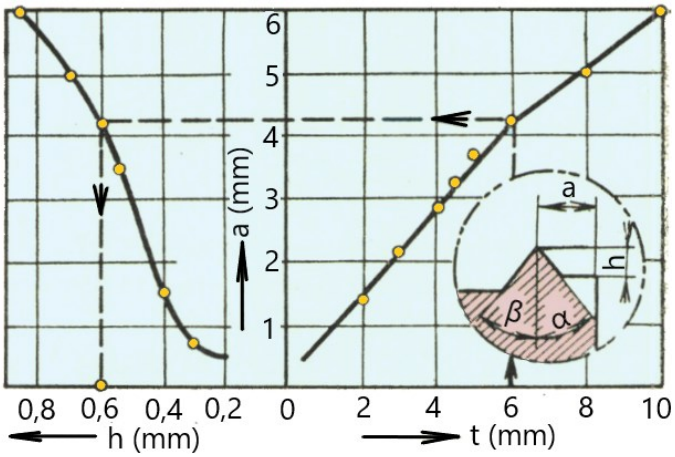
Dle stanovené výšky se odvíjí vzdálenost hrany od obrysu. Vyjádří se jako [29]:

$$a = (0{,}6\ až\ 1{,}2) \cdot h. \tag{2.15}$$

Za tlačnou hranou bývá odlehčení, které se vyjádří jako [29]:

$$h_1 = \mathrm{h} + 0{,}05. \tag{2.16}$$

Hloubka vniku je v případě využití dvou tlačných hran rovna součtu výšek obou hran. Jedná-li se o plech do tlouštěk 10 mm, je možné stanovit rozměry také pomocí křivek v obr. 20, kde v případě tloušťky plechu do 4 mm je úhel α 30 ° a β 45 °. Je-li tloušťka větší než 4 mm, tak úhly α i β jsou rovné 45 °. [26]



Obr. 20 Tvar a rozměr tlačné hrany [26].

Při návrhu tlačné hrany je nutné brát v potaz, že výstupky a části zabíhající dovnitř stříhané součásti se dají snáze stříhat než ty ze součásti vyčnívající. Jsou-li na výstřižku úzké štěrbiny, které mají malý poměr šířky k tloušťce výchozího materiálu, vlivy přemísťování materiálu se navzájem ruší, tudíž nátlačná hrana nesleduje křivku střihu a je navržena kolem štěrbiny.

Nejjednoduší návrh tlačné hrany je podle zaoblení výstřižku. V místech, kde je křivka střihu prohnuta silně negativně, má nátlačná hrana být ve větší vzdálenosti od křivky střihu. U části výstřižku, kde se ruší vliv přemísťování materiálu v oblasti střihu v důsledku tvaru a rozměru součásti, nátlačné hrany se použít nemusí. Typické příklady jsou na obr. 21, kde **1** značí nátlačnou hranu a **2** křivku střihu. [31;32]

Pro posouzení toho, zda podél obrysu být má či nikoliv, slouží podmínka vyjádřená jako [32]:

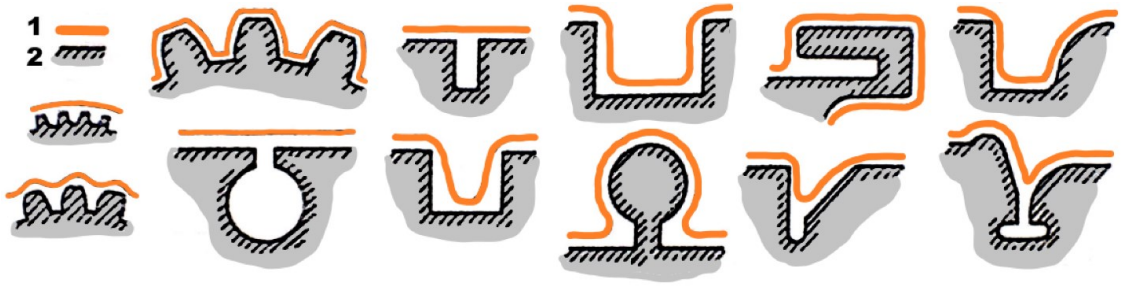
$$b \leq 15 \cdot h, \tag{2.17}$$

kde: b - šířka zářezu [mm].

Je-li splněna, není tlačná hrana vedena podél obrysu střihu.

$$b > 15 \cdot h. \tag{2.18}$$

Je-li tato podmínka splněna, tlačná hrana kopíruje stříhaný obrys.

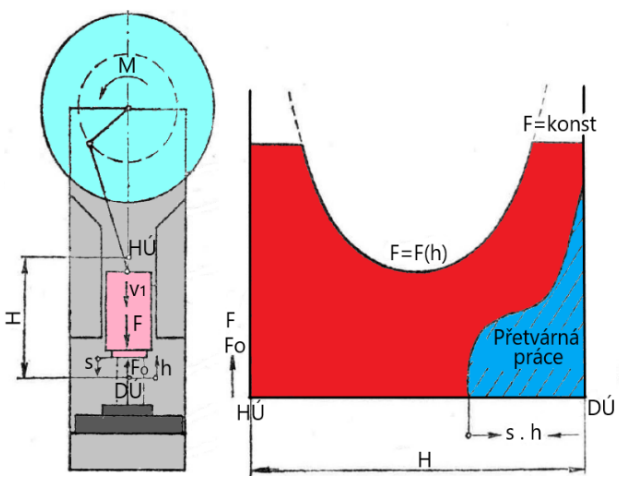


Obr. 21 Příklady průběhu nátlačné hrany vzhledem ke křivce střihu [31].

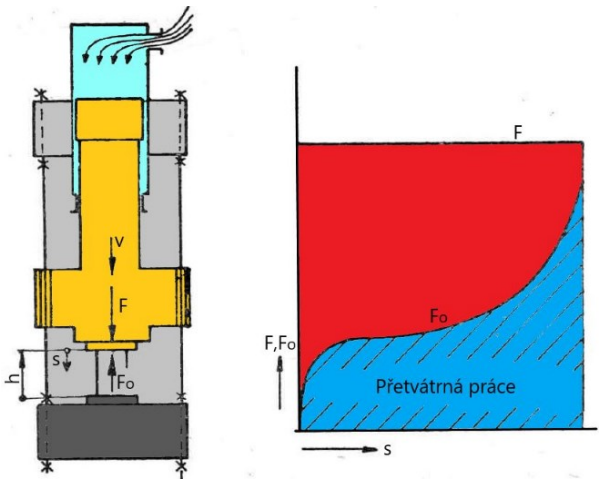
2.2.4 Stroje

V důsledku vysoké výrobnosti součástí se vyplácí používat rozsáhlý sortiment typů tvářecích strojů, které jsou pokud možno co nejvýhodněji přizpůsobeny danému rozsahu pracovního využití. Při přesném stříhání jsou využívány lisy, jež využívají převážně tlak pracovní části neboli beranu, který je trvale spojen s hnacím ústrojím a koná obvykle přímočarý vratný pohyb. Jejich konstrukce je členěna na:

- Mechanické – jedná se o stroje, které mají mechanický pohon beranu, a to od klikového ústrojí nebo od vaček, hřebene atd. Dále se dělí na:
  - Klikové – klikové ústrojí je využito k pohonu beranu dle obr. 22, přičemž se zde využívá toho, že mezi beranem a klikovým ústrojím se nachází proměnný převod. Pomocí proměnného převodu je možno při otáčení klikového hřídele zvětšit sílu na beranu, a to při konstantním přiváděném kroutícím momentu. Dle silového průběhu, který je parabolický, je využíváno i procesů s podobným průběhem síly.
  - Výstředníkové – díky své konstrukci zdánlivě připomínají klikové, ovšem na klikovém čepu se nachází natáčivé výstředníkové pouzdro, díky němuž lze nastavit velikost zdvihu beranu lisu. A právě proto jsou univerzální a pro většinu lisařských operací velmi výhodné. Díky otevřenému stojanu s vyložením, jenž je často využíván, je pracovní prostor přístupný ze tří stran, což je jednou z dalších předností dané konstrukce.
- Hydraulické – k přenosu energie je použita kapalina s využitím Pascalova zákona hydrostatiky. Plunžr čerpadla s malým průměrem stlačuje kapalinu v nádobě, přičemž na tom velkém je dosaženo větší síly, která odpovídá poměru ploch obou plunžrů. Díky dosažení velkých sil jednoduchou konstrukcí a malými rozměry stroje, své využití nalézá v rámci celé strojírenské výroby. Znázornění lze spatřit na obr. 23. Výhodou je plynulá regulovatelnost rychlosti pohybu nástroje. Naopak pomalý chod nástrojů a malý počet pracovních cyklů za minutu se jeví jako nevýhoda. Lze jej využít u technologií, které vyžadují prodlevu v pracovní poloze za současného tlaku nástrojů na materiál. [33]



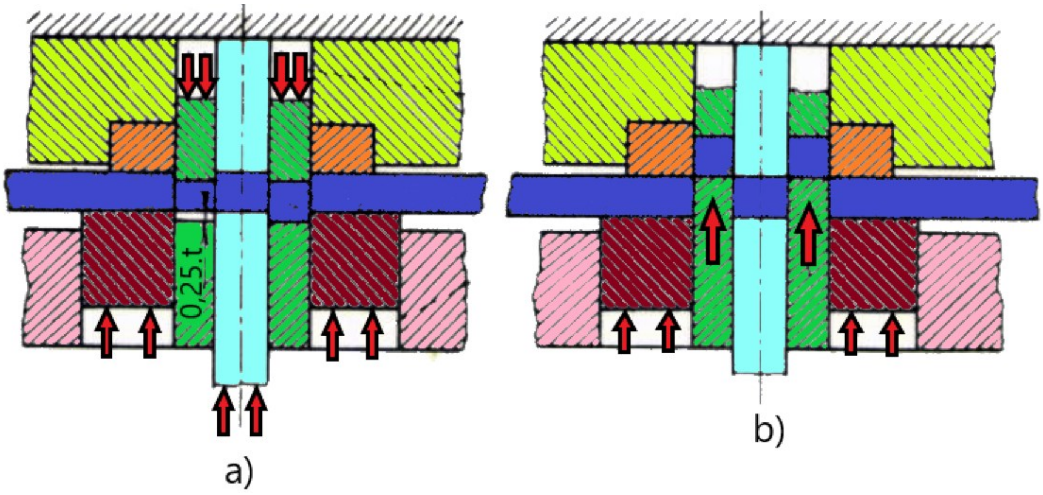
Obr. 22 Klikový lis [34].



Obr. 23 Hydraulický lis [34].

Při přesném stříhání v malosériové výrobě je z ekonomického hlediska výhodné použít pro vyvození síly na přidržovači a vyhazovači lis s přídavným zařízením. Zařízení pro vyvození tříosého stavu napjatosti mohou být pneumohydraulická nebo hydraulická. Jejich princip je takřka totožný s rozdílem spočívajícím ve vyvození plnícího tlaku. U pneumohydraulických zařízení jsou napodobovány takové podmínky, jaké jsou u trojčinného lisu, a energie pro přidržovač a vyhazovač se odebírá z energie pohybu beranu. Dle technologických požadavků tvářecí operace je možné nastavit pomocí regulačního ventilu sílu, která vzniká při pracovním zdvihu v přídavném zařízení. Levnější variantou je hydraulické zařízení, na kterém je možné časovat jednotlivé funkce, nastavit vyhazovací sílu a použít hydraulickou pojistku. V případě sériové výroby se využívá trojčinných lisů, na které jsou pořizovací náklady spolu s nástroji podstatně vyšší než u běžného stříhání. Mohou být mechanicko-hydraulické nebo čistě hydraulické vybavené podavači pásu nebo svitku plechu od tloušťky 0,5 až 20 mm. Charakteristickým rysem u trojčinných lisů je to, že přibližovací pohyb nástroje je rychlý a vlastní stříhací rychlost je nízká (10 až 15 mm/s), díky čemuž má eliminovat ráz beranu a zajistit měkké střižné působení. [26; 33]

Pro odstranění tvorby otřepů je možné nahradit vystřihování na trojčinných lisech reverzním vystřihováním. Proces se probíhá ve dvou fázích podle obr. 24. V první fázi a se vystřihuje do meze, kdy materiál teče v rozmezí plastické deformace, a do hloubky 25 % tloušťky materiálu se provede nástřih. V druhé fázi b se v opačném směru materiál prostřihne. Vzniká tak hladká střižná plocha, a to z důvodu využití deformace s tečením materiálu současně z obou stran. Stříhat lze i bez tlačných hran, a to v případech, kdy je tloušťka materiálu do 3,5 mm. Je-li však tloušťka větší, je nutné využít tlačných hran. [26]



Obr. 24 Reverzní stříhání [26].

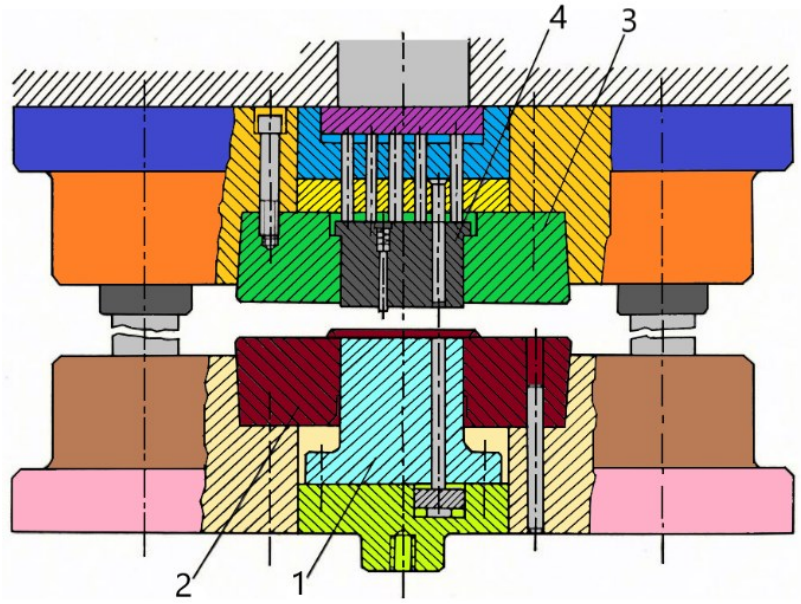
K tomu, aby byla zabezpečena co největší efektivnost a hospodárnost výroby přesně stříhaných součástí na lisu, musí mít daný lis nejen klasické, ale také některé další zvláštní vlastnosti, kterými jsou:

- Maximální sila jak na přidržovači, tak na vyhazovači musí být v určitém poměru k nevyššímu přípustnému zatížení lisu. Konkrétněji specifikováno, největší síla přidržovače má být maximálně 40 % a vyhazovače 20 % jmenovité tvářecí síly, přičemž v daných rozmezích musí být libovolně volitelné. Současně vedle toho platí to, že nejsou závislé na střižné síle.
- Pracovní schopnost lisu musí být taková, že odpovídá všem požadavkům specifickým pro přesné stříhání, protože u přesného stříhání se dosahuje až několikanásobně větší práce než u konvenčního.
- Rychlost stříhání by měla být menší než 10 mm/s.
- Součásti se i při maximálním zatížení jen nepatrně pružně deformují. Nelze-li pružné deformaci zabránit, je přípustná jen ve směru střihu.
- Vedení beranu musí být bez vůle. Dokonce i v případě mimostředného zatěžování se beran lisu nesmí přesunout napříč směru střihu, tudíž ani vedení a ani jeho opěry se nesmějí deformovat.
- Lis musí být vybaven bezpečnostní pojistkou proti přetížení.
- K obecné ochraně nástrojů a kontrole průběhu stříhání musí obsahovat bezpečnostní zařízení, která v případě, kdy je to nutné, zajistí okamžité zastavení pohybu beranu. A podle možností by se měl beran vrátit do výchozí polohy, aby bylo možné odstranit příčinu poruchy.
- Lis má vyhovovat hospodárné výrobě všech přesně stříhaných součástí bez ohledu na jejich tvar, velikost a váhu. [31]

2.2.5 Nástroje

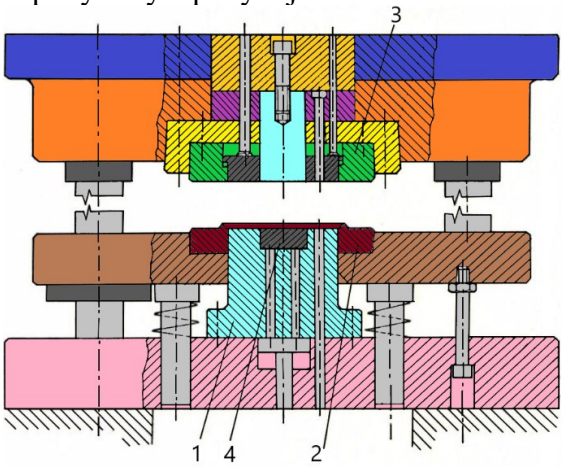
Pro každou technologii je nutné navrhnout charakteristický tvářecí nástroj, jenž splňuje požadavky touto kladené, a to s ohledem na zásady ekonomické, bezpečnostní, etické, ekologické a technické. Díly jsou ve většině případů normalizované, což má pozitivní efekt v mnoha ohledech, především z hlediska vývoje nebo ekonomičnosti. Ná nástroje pro přesné stříhání je kladeno mnoho požadavků, mezi nejdůležitější patří: tuhost nástroje; možnost přenášet potřebný tlak přes přidržovač a vyhazovač; rovnoběžnost stěn otvoru ve střižnici po celé tloušťce stříhaného materiálu bez jakéhokoliv úkosu a přesné výškové ustavení nástroje. Z konstručního hlediska se dají rozdělit do dvou základních systémů:

- První systém (obr. 25) je konstruován s pohyblivým střižníkem, který je při pohybu veden nepohyblivým přidržovačem. Stejně jako přidržovač je zde nepohyblivá i střižnice. Ve většině případů je pro plošné a rovinné součásti využito právě výše zmíněné konstrukce nástroje. Je velmi vhodná v případech, je-li součást symetrická do tloušťky 5 mm. Střižné prvky jsou při procesu namáhany ohybem, a to díky vznikajícím příčným silám. Funkční části nástroje, jež jsou uloženy ve vodícím stojánku tvoří:
  - Střižník **1** - jedná se o funkční část nástroje, jenž zajišťuje střižný proces spolu se střižnicí, a je upevněn k beranu lisu.
  - Přidržovač s nátlačnou hranou **2** – je částí nástroje, která svírá polotovar a vtlačuje tlačnou hranu do materiálu. Její pohyb je ovládán hydraulicky.
  - Střižnice **3** - tvoří horní část nástroje a zajišťuje střižný proces.
  - Vyhazovač **4** – během procesu střihu působí protitlakem a ve finální fázi zajišťuje uvolnění výstřižku či odpadu z nástoje. Jeho pohyb je také ovládán hydraulicky.

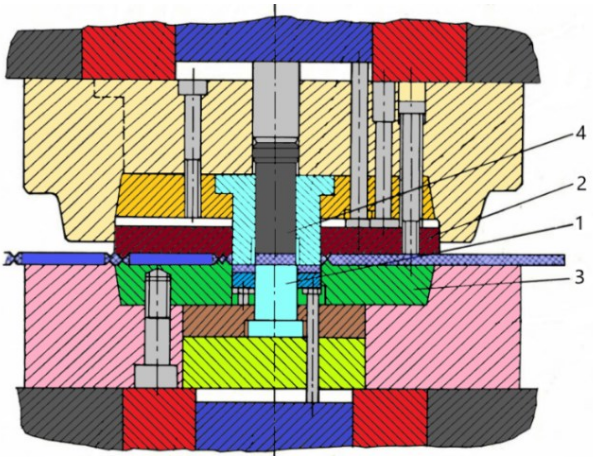


Obr. 25 Systém s pohyblivý střižník a pevný přidržovač [26].

- Druhý systém (obr. 26) se vyznačuje pevným, tedy nepohyblivým střižníkem. Pohyb zde vykonává přítlačná deska i střižnice. Tuto konstrukční variantu je možné označit za vhodnou především pro nesymetrické součásti s mnoha otvory, které jsou dlouhé a velké, a jejich tloušťka je větší než 5 mm. Přidržovač s tlačnou hranou obepíná po obvodu střižník, síla nutná pro zatlačení přidržovače a sevření materiálu je vyvozena hydraulicky, a to za pomocí tlačných kolíků. Vyhazovač je ovládán taktéž hydraulicky a střižná síla je vyvozena mechanickým, popřípadě hydraulickým pohonem. Rozložení lisovací síly není rovnoměrné na všech tlačných kolících, a tudíž tyto nezaručují rovnoběžnost mezi přidržovačem a střižníkem. Daný systém se dá ještě rozdělit na případ, kdy je pevný střižník dole, viz obr. 26, a naopak kdy je střižník nahoře, viz obr. 27. Je jej výhodné použít tehdy, jsou-li dílce odstraňovány z plochy střižnice tak, aby jim pás plechu nepřekážel. Dále je volba vhodné varianty závislá také na použitém stroji, a to na okolnosti, zda se u daného stroje pohybuje pracovní stůl, a tedy spodní část nástroje, nahoru, anebo je pracovní stůl nepohyblivý a pohybuje se horní část nástroje dolů. [26; 27]



Obr. 26 Systém pevný střižník dole a pohyblivý přidržovač [26].



Obr. 27 Systém pevný střižník nahoře a pohyblivý přidržovač [26].

Posouvání pásu nástrojem je zajištěno pomocí podávacího zařízení, které bývá součástí lisovacího stroje. Vykonává-li lis pracovní pohyb zdola nahoru, na beranu lisu je upevněna spodní část a na horní desce horní část nástroje, tak pás plechu, který se posouvá pod přidržovačem, se také pohybuje svisle o hodnotu tloušťky plechu. [31]

Při konstrukci funkčních částí nástrojů se musí dbát na jejich vzájemné sladění. Pro výpočet a pevnostní kontrolu se vychází ze stanovené lisovací síly, kterou je nástroj namáhán. Jedná se o tyto součásti:

- Střižník – kontroluje se na otlačení s tím, že je-li namáhání na dosedací ploše v upínací hlavici větší než 180 MPa u ocelí a v případě litin větší než 90 MPa, pak je nutné použít opěrnou kalenou desku o tloušťce 4 mm, aby nedošlo k otlačení. [27]

  Dovolené napětí se stanoví jako [27]:

$$\sigma_{dov} = \frac{F_s}{S_{st}}, \tag{2.19}$$

  kde: S_{st}– opěrná plocha střižníku [mm^2].
- Střižnice – se při výpočtu považují za rovinné desky namáhané ohybem a tlakem, přičemž se předpokládá, že tlak je rozložen rovnoměrně po střižném obvodu. Jedná-li se o střižnice celistvé, dle kvality materiálu se volí dovolené napětí v rozmezí 300 až 400 MPa pro přesné nástroje. Pro střižnice, kde se plech maximální tloušťky stříhá výjmečně, popřípadě pro děrování otvorů bez zvláštních požadavků na přesnost a kvalitu střižné plochy, se napětí volí v rozmezí 400 až 500 MPa. [27]

  Pro předběžný návrh minimální výšky střižnice lze využít vztahu [26]:

$$H = \sqrt[3]{0{,}1 \cdot F_s}\,. \tag{2.20}$$

Rozměry základní části nástroje jsou shodné s jmenovitými rozměry a tolerancemi vystřihovaného polotovaru. Díky stanovení základní části je možné navrhnout rozměry střižníků a střižnice. V případě vystřižení otvoru budou jeho rozměrům odpovídat rozměry střižníku. Rozměry střižnice budou zvětšeny o hodnotu dvojnásobku střižné mezery. Jedná-li se o vystřižení součásti, pak jejím rozměrů odpovídá otvor ve střižnici s tím, že střižník je v porovnání s rozměrem otvoru střižnice zmenšen o dvojnásobnou hodnotu střižné mezery. Rozměry otvoru střižnice se vlivem opotřebení zvětšují a rozměry střižníku se naopak zmenšují. Při vystřihování je výhodné přenést větší část tolerance součásti na střižnici jako přídavek na opotřebení, protože zmenšení rozměru střižníku nemá podstatný vliv na výslednou součást. Ovšem při děrování závisí na rozměru střižníku, a tudíž je výhodné přidat větší část tolerance součásti k toleranci střižníku. Pro přesné výstřižky se stupněm přesnosti IT 6 až IT 10 odpovídá hodnotě mezní úchylky vystřihovaného tvaru hodnota přídavku na opotřebení. Pro méně přesné výstřižky se stupněm přesnosti IT 11 až IT 14 se hodnota přídavku rovná 0,8násobku mezní úchylky vystřihovaného tvaru. [34]

K tomu, aby bylo zajištěno správné fungování nástroje, musí být dobře vyvážen, což ve svém důsledku znamená, že výslednice sil od všech střižníků musí působit v ose beranu. V případech, kdy se jedná o nástroje větších rozměrů, je možné využít pro uchycení nástroje upínek a šroubů k uchycení za upínací desku. Spodní část nástroje se upíná za stůl lisu nebo na upínací desku zásadně za základovou desku. Upnutí je zde opět možné provést přímo šrouby nebo pomocí upínek. [27]

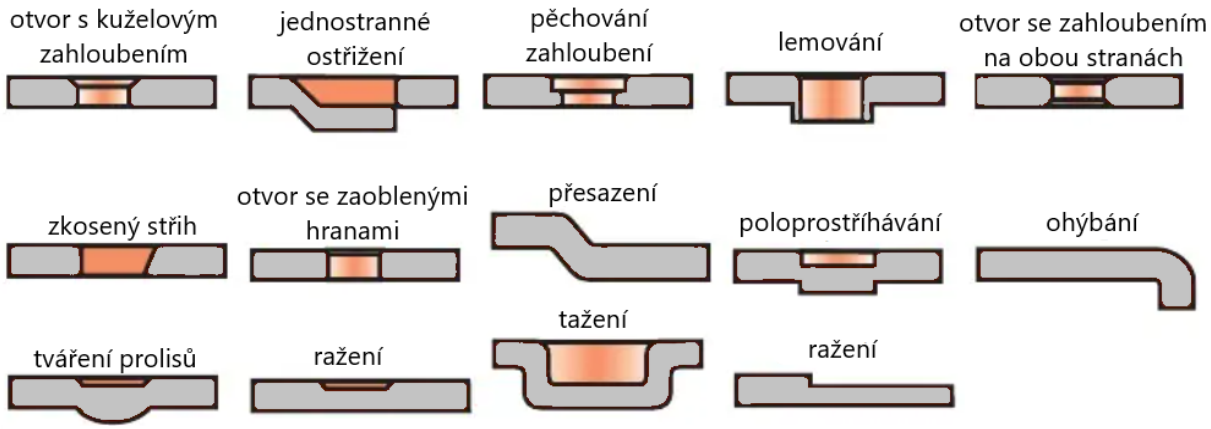
Hospodárnost a ekonomická výhodnost přesného vystřihování se odvíjí od faktorů, jimiž jsou použitý materiál na funkční části nástroje a postup tepelného zpracování. Jejich volba je závislá na mnoha různých vlivech, jako například na typu nástroje a způsobu namáhání, zpracovaném materiálu, počtu kusů apod. Mimo klasické nástrojové oceli, u nichž je vyžadována maximální odolnost proti opotřebení, je možné použít též slinuté karbidy s obsahem 15 až 30 % kobaltu. Z ekonomického hlediska je využití slinutých karbidů efektivní v případě výrobní dávky 700 tisíc kusů a více. Je tomu tak proto, že při jejich použití se dosahuje vyšších výkonů. Doporučené materiály pro jednotlivé funkční části dle praktických zkušeností jsou uvedeny v tabulce 3. [26]

Tab. 3 Doporučené materiály funkčních části nástroje [26].

Funkční části nástroje		Materiál	Tepelné zpracování
střižnice		19 436, 19 437	kaleno a popuštěno
		slinutý karbid G3	
střižník kruhový	dřík	19 437	kaleno a popuštěno
		slinutý karbid G3, G4	
	hlava	19 437	kaleno a popuštěno
střižník tvarový	dřík	Mo 5 PK kovaná	pozvolný předehřev, popouštění 5x, kaleno a popuštěno
		slinutý karbid G3, G4	
	hlava	Mo 5 PK	kaleno a popuštěno
přidržovač		19 437	kaleno a popuštěno
vyhazovač		19 436	kaleno a popuštěno
tlačný kolík		19 421, 19 422	kaleno a popuštěno
opěrná deska		19 436	kaleno a popuštěno
zděř		19 452 - výkovek	kaleno 2krát a popuštěno

Mnoho činitelů ovlivňuje životnost funkčních nástrojů, jedná se především o druh materiálu, tepelné zpracování, tloušťku a tvar stříhané součásti, materiálu nástroje atd. Pro zvýšení životnosti nástroje je možné jej povrchově upravit lapováním, leštěním a nasycováním funkčních ploch wolframem a dusíkem. Čas, po který nástroj pracuje od naostření až po otupení neboli trvanlivost funkčních částí, se značně liší. Střižník má optimální velikost trvanlivost při stříhání materiálu s mezí pevnosti do 600 MPa okolo 30 000 kusů. Jedná-li se o střižnici, trvanlivost je 3,5 až 4krát větší oproti střižníku. [26]

Dle tvaru součásti a sledu operací se volí to, zda se bude jednat o nástroj postupový nebo sdružený. Má-li se provádět dva a více úkonů stejného typu za sebou, jedná se o postupový nástroj. V případě sdruženého nástroje, se v jednotlivých nástrojích zhotovuje výrobek pomocí různých tvářecích operací. Příklady kombinací s přesným stříháním je možné vidět na obr. 28. [26]



Obr. 28 Příklady operací sdružených s přesným stříháním [36].

2.2.6 Technologičnost

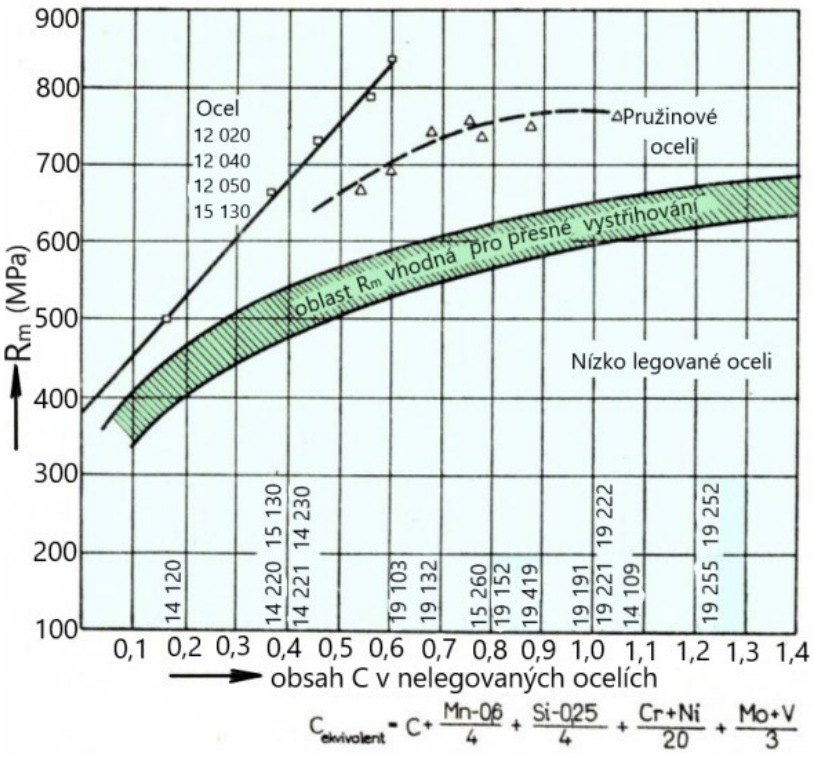
Při návrhu technologie je nutné zohlednit možnosti, v jakých je možné danou technologii použít, a dále s nimi počítat. Jedním z takových omezení je vhodnost materiálu pro přesné stříhání. Vhodnými lze označit především oceli s dostatečnou tvárností za studena a minimální mezí kluzu. Vzhledem k výrobě a hospodárnému využití se jeví nejvýhodnějšími nízkouhlíkové

a nízkolegované oceli s pevností do 600 MPa. Má-li ocel vysoký obsah chromu, manganu a křemíku, pro přesné stříhání není vhodná. Příklady použitelnosti materiálů jsou uvedeny v tab. 4.

Tab. 4 Přehled vybraných materiálu dle ČSN pro přesné stříhání [21].

Označení materiálu	Vhodnost
ČSN 11 300, 11 320, 11 330, 11 343, 11 373, 11 423, 11 425; 12 010, 12 014, 12 020, 12 023, 12 024 ČSN 42 4214	velmi dobrá
ČSN 11 500, 11 600, 11 700, 16 720	dobrá
Ms 63, Ms 60	špatná
Ms 58 (ČSN 42 3223)	nevhodná
Ms 63Pb (ČSN 42 3214)	nehodí se
ČSN 12 040,12 041, 12 050, 12 060, 12 061, 12 073, 12 081, 12 088; 13 180; 14 109, 14 120, 14 180, 14 220, 14 221, 14 260; 15 124, 15 130; 16 220, 16 221, 16 231, 16 420; 17 041, 17 240, 17 241, 17 246, 17 253; 19 103, 19 132, 19 140, 19 152, 19 191, 19 192, 19 221, 19 222.	opotřebení nástroje

Jedná-li se o nízkolegované ocelí, je doporučováno přepočítat obsah legujících prvků na ekvivalentní obsah uhlíku, a to k tomu, aby mohly být zjištěny nejpříznivější pevnostní oblasti dle obr. 29, kde je možné vidět, že s rostoucí mezí pevnosti se vhodnost materiálu snižuje a kvalitu střižné plochy více ovlivňuje anizotropie mechanických vlastností. Hodnoty v grafu ovšem nezohledňují vliv předchozího zpracování a ohřev materiálu, a tudíž se jedná spíše o orientační hodnoty. [26; 21]

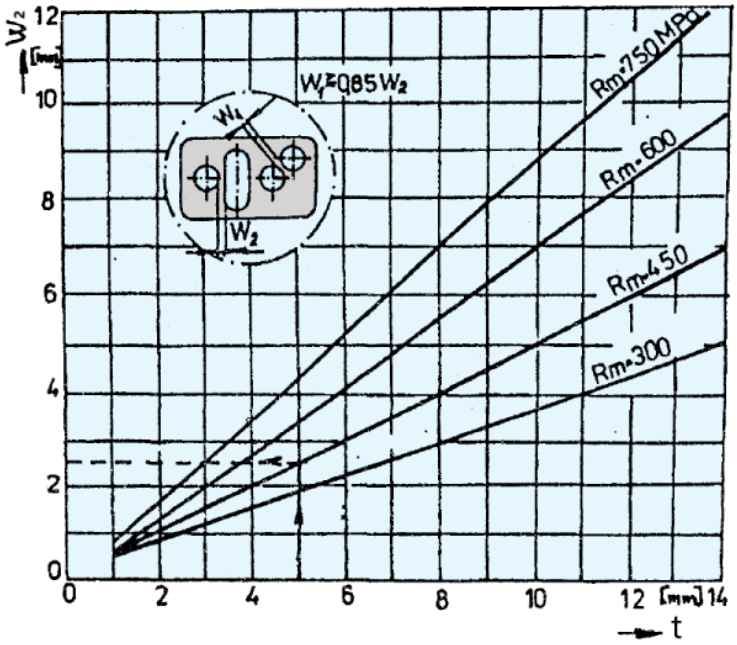


Obr. 29 Oceli vhodné pro přesné vystřihování [26].

Pro přesné stříhání se využívají polotovary ve formě pásů nebo plechů válcovaných za studena, na které jsou kladeny nároky v podobě nutnosti hladkého povrchu bez zaválcovaných okují, šupin, přeložek a zátlaků. Hloubka oduhličení nesmí překročit 2 % tloušťky stříhaného matriálu. V případě zvláště namáhaných součástí se používá již povrchově upravený materiál bez vrchní oduhličené vrstvy. Využití nachází také u neželezných kovů, konkrétněji u mědi, a měkkých bronzů spolu s mosazí s obsahem mědi nad 63 %. Jedná-li se o slitiny mědi, které obsahují méně než 56 % mědi nebo obsahují olovo, materiál je k přesnému stříhání nevhodný. Naopak hliník a jeho slitiny do meze pevnosti 300 MPa, popřípadě Beryllium a jeho slitiny, jsou pro vystřihování vhodné. [26]

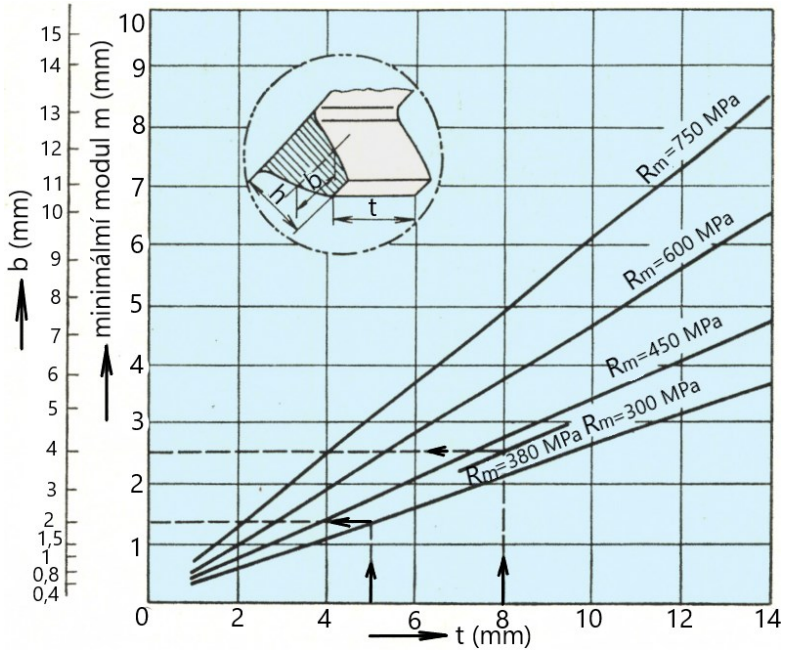
Okolnosti jako je velikost výrobní série, tvar vyráběné součásti a zejména technologičnost konstrukce mají zásadní vliv na komplikovanost lisovacích nástrojů, jejich cenu a výkonnost.[2] Z praxe jsou stanoveny diagramy, které slouží k posouzení technologičnosti součásti. Ověřují se například [21]:

- Poloměry rohů a hran – volí se optimální zejména v případech vyčnívajících částí. Kvalita střižné plochy a životnost nástroje je snižována ostrými rohy a hranami. V případě ostrých rohů vznikají na výsledné ploše trhlinky. Stanovení optimální velikosti je závislé na pevnosti materiálu, tloušťce plechu a vrcholovém úhlu. Dále platí, že čím je vrcholový úhel menší a pevnost materiálu větší, tak musí být i poloměry rohů a hran větší. [26]
- Minimální průměr otvoru a minimální šířka drážky – je možné je volit tak, že jsou menší než tloušťka plechu, a to díky pomalému průběhu procesu, tuhé konstrukci nástroje a vyhození odpadu po každém zdvihu. Omezujícím faktorem je životnost funkčních částí. Pro orientační hodnoty u materiálu do meze pevnosti 400 MPa platí, že je-li tloušťka plechu 3 mm, je minimální průměr roven 60 % tloušťky plechu a minimální šířka drážky 65 % tloušťky plechu. Ovšem když je tloušťka plechu nad 3 mm, tak pro minimální průměr platí 70 % tloušťky a pro šířku drážky 80 %. V případě materiálů s vyšší pevností, je nutné minimální průměr otvoru a šířku drážky zvětšit, a to kvůli větším tlakům. [26]
- U členitých součástí je velmi důležité ji vhodně volit. V případě, kdy by byla vzdálenost malá, docházelo by ke zhoršení kvality střižné plochy a ke snížení životnosti nástroje. Na vhodnou volbu má vliv tloušťka stříhaného materiálu a pevnost materiálu. Diagram pro určení vzdáleností pro materiály o mezi pevnosti 300, 450, 600 a 700 MPa je možné vidět na obr. 30. [21]



Obr. 30 Minimální vzdálenosti mezi otvory a drážkami [21].

- Tvar ozubení – závisí na mnoha činitelích, především tedy na tloušťce a mezi pevnosti materiálu. Minimální šířka zubu na roztečné kružnici pro výrobu přesným stříháním musí být 60 % tloušťky materiálu. Minimální hodnoty pro modul v závislosti na tloušťce materiálu a mezi pevnosti jsou na obr. 31. [26]



Obr. 31 Minimální velikost modulu ozubení [26].

Další možností, jak posoudit technologičnost součásti je, že se její jednotlivé části klasifikují do stupně obtížnosti podle diagramů dle přílohy 1. Celková úroveň obtížnosti součásti potom odpovídá nejvyššímu dosaženému stupni. Jedná-li se o hodnoty pod přímkou obtížnosti S3, jsou zde nevhodně zvolené konstrukční parametry, a dojde tak ke zhoršení střižné plochy a snížení životnosti funkční části nástroje. [36]

2.2.7 Využití materiálu

Jako jeden z nejvýznamnějších faktorů, jež ovlivňují hospodárné využití materiálu, je vhodné uvést zejména tvar výstřižku. Dále je třeba neopomenout a zdůraznit také roli jeho uspořádání na polotovaru, které má na efektivitu procesu rovněž nesporný vliv. Za zmínku stojí také to, že při stříhání vzniká odpad, jenž je možné rozdělit do dvou kategorií – technologický a konstrukční odpad. Hospodárné využití materiálu polotovaru se vyjadřuje součinitelem využití materiálu. [2]

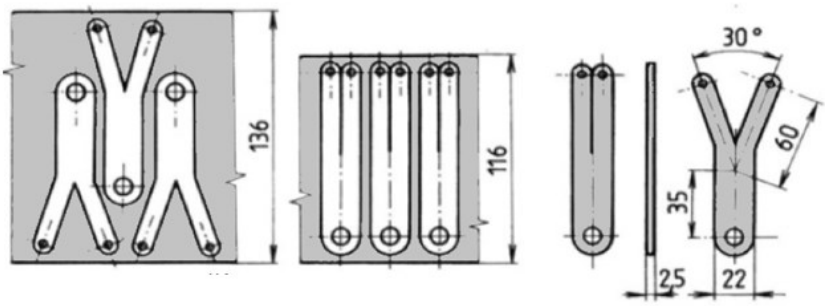
Součinitel využití materiálu se stanoví jako [35]:

$$\eta = \frac{S_v}{S_p} \cdot 100, \tag{2.19}$$

kde: S_v – plocha výstřižku [mm^2],

S_p – plocha polotovaru [mm^2].

Hodnota součinitele by měla být větší než 70 %. Jestliže tomu tak není, je nutné pro zvýšení hospodárnosti změnit polohu výstřižku na páse, změnit tvar součásti nebo udělat konečný tvar až po stříhání. Na obr. 32 je příklad, kdy nebylo dosaženo 70 % využití materiálu při přímém vystřižení součásti, a tudíž se záměrem zvýšení hospodárnosti došlo k vystřižení polotovaru součásti pro následné rozevření. Poté došlo k samotnému rozevření, kde daný proces má o operaci více, ovšem využití materiálu přesahuje hranici 70 %, a z daného hlediska je tedy výhodnější. [2]

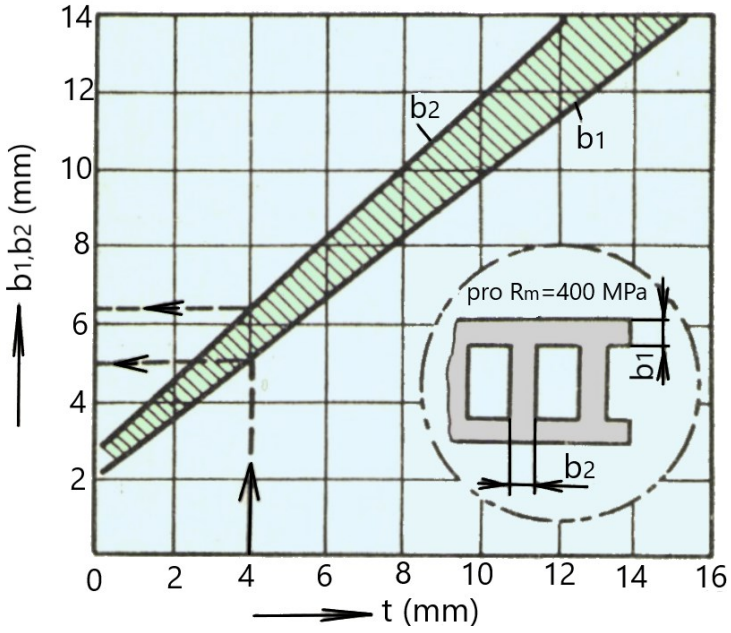


Obr. 32 Uspořádání výstřižků a úprava tvaru [2].

Nástřihový plán, jímž se rozumí rozmístění součásti na polotovaru, je základním stavebním kamenem, který je nutný pro výpočet spotřeby materiálu. Jeho hlavními funkcemi je především maximální využití materiálu, snadná manipulace a případné splnění jiných technologických požadavků. Lze jej řešit pomocí početní metody nebo také empiricky. Je-li využita početní metoda, stanoví se největší možný počet výstřižků nebo vhodný výchozí formát polotovaru. Při empirickém řešení, kdy je součást tvarově složitá, se zase využije papírových šablon budoucího výstřižku anebo simulačních programů. Pro konstrukci nástřihového plánu platí konkrétní zásady:

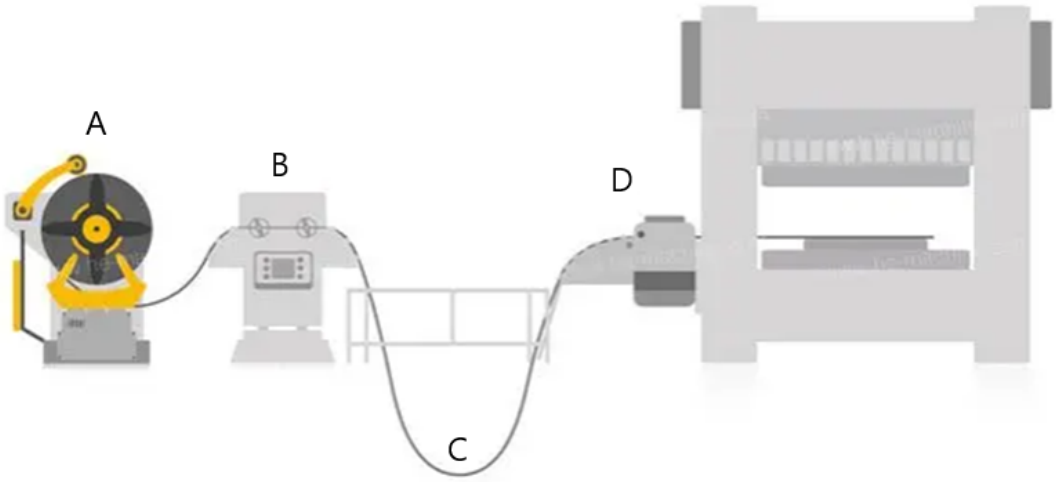
- výhodnější než kruhový obrys jsou rovnoběžníkové tvary,
- využívání seskupování výstřižků pro co nejlepší využití materiálu,
- stříhání různých součástí na jeden zdvih pro zvýšení využití materiálu,
- využívání více střižníků stejného tvaru pro větší série.

Mezi výstřižky je nutné nechávat mezeru, tzv. můstek. Jeho šířka se odvíjí od tloušťky plechu, tvaru výstřižku, vzdálenosti nátlačné hrany od obrysu, materiálu a způsobu podávání. Postranní odpad a šířka můstku je při přesném vystřihování větší oproti konvenčnímu, a to z důvodu potřebného místa na zatlačení nátlačné hrany. Je-li materiál tvrdý, je potřeba větších hodnot než u měkkých, jinak by se nedal vyvodit dostatečný tříosý stav napjatosti. Minimální hodnoty pro postranní odpad a můstek jsou závislé na tloušťce plechu a lze je určit například podle grafu na obr. 33. [35; 26]



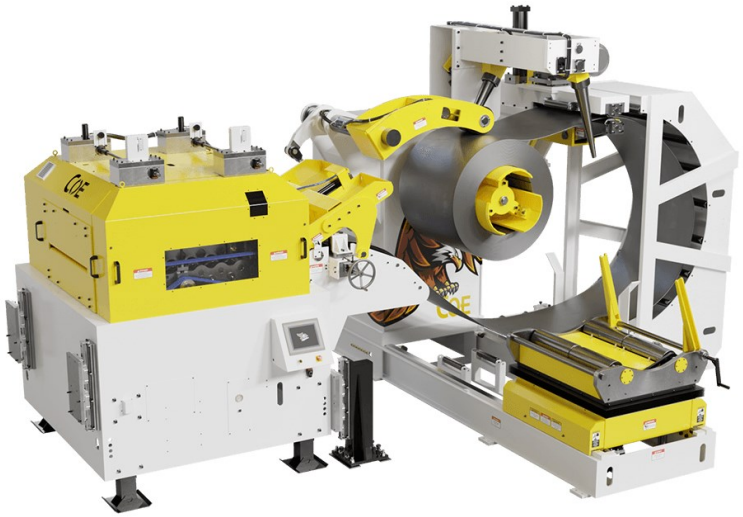
Obr. 33 Minimální velikost postranního odpadu a můstku [26].

V sériové a hromadné výrobě se využívá plech ve svitcích, který je podáván automaticky, kdežto jedná-li se o menší série, vychází se z tabulí plechu, které se stříhají na pásy. Je-li využito svitku, plech je dodáván do lisu pomocí svitkové linky (obr. 34). Jejími hlavními částmi jsou odvíječ **A**, který zajišťuje odvíjení plechu, který následně prochází přes rovnačku **B**, po vystoupení z ní tvoří plech tzv. smyčku **C**, pro kterou musí být navržena jáma. Do stroje je plech dopraven pomocí podávacího zařízení **D**, které využívá válečkového posuvu a zajišťuje dopravení do přesně definované polohy v lisu.



Obr. 34 Konvenční svitková linka [37].

Není-li možné zhotovit jámu v hale, lze využít kompaktní linky (obr. 35), která se skládá z odvíječe, přičemž zde se však plech odvíjí směrem dolů a proti směru zpracování, čímž dochází k vytvoření vodorovně vyrovnané smyčky. Dále je její součástí rovnačka, jíž je materiál narovnán a podávacím zařízením je dále přerušovaným pohybem dopraven do definované polohy. Při volbě uspořádání nejsou hlavním faktorem pouze prostorové možnosti v hale, ale záleží také na zpracovávaném materiálu. Jedná-li se o tenké plechy, je vhodnější konvenční uspořádání. Pro materiály větších tlouštěk, jsou-li vhodné pro přerušované rovnání, se řešením jeví zvolit kompaktní provedení. [36]



Obr. 35 Část kompaktní svitkové linky [38].

U nástřihových plánů je odpad možné dále kategorizovat na nevyužitelný a využitelný, který je možné, jak již z jejich samotného názvu vyplývá, dále použít pro výrobu jiných součástí. Jelikož v případě plechových pásů není známa přesná délka daného pásu, nemůže být známá

ani plocha celého polotovaru. Koeficient využití materiálu je tak vypočten pro případ opakujícího se úseku pásu. V každém případě by se s rostoucí sériovostí výroby, měla celková hospodárnost jak u pásu, tak i u tabule, zvyšovat. Příklady možného rozmístění součásti jsou znázorněny na obr. 36. [35]

Obr. 36 Příklady rozmístění součástí [26].

U většiny tvářecích operací je nutné zajistit správné mazání. Přesné vystřihování v tomto rozhodně není výjimkou. Při absenci mazadla by totiž mohlo docházet k tvorbě studených svarů mezi polotovarem a střižnicí a zároveň i mezi polotovarem a střižníkem, což by mohlo vést k předčasnému opotřebení a otupení nástrojů. Z toho důvodu je také nutné aplikovat dostatečnou vrstvu maziva na kontaktní povrch, kterou je možné zajistit pomocí válečků anebo spreje. Při využití spreje se mazivo nanáší z obou stran plechu rovnoměrnou vrstvou. Rovnoměrnost vrstvy maziva je zajištěna přidáním smáčecích látek do olejů. Při využívání olejů s větší viskozitou, které jsou vhodné pro materiály s větší tloušťkou plechu, se olej nanáší pomocí válců. Pro zajištění distribuce oleje do všech kontaktních ploch se využívá při konstrukci speciálního opatření, jako je zkosení nebo tvorba mazacích kapes. S ohledem na materiál, tloušťku, a pevnost součásti musí být olej individuálně a vhodně navržen, jelikož univerzální olej neexistuje. Viskozita oleje musí být sladěna se specifickým typem namáhání, které vzniká při přesném stříhání. V minulosti se využívaly organické chloridové sloučeniny pro extrémní tlaky, ale nyní se více používají oleje bezchlorové, a to hlavně kvůli toxikologickým účinkům. Bezchlorové oleje lze ovšem využít pouze do tlouštěk 6 mm. [36] Jako příklady maziv, které se používají, mohou být uvedeny oleje pod obchodním názvem Cartis 525, Jefa nebo Holifa Feintool öel [26].

2.2.8 Rozměrová přesnost a drsnost povrchu

Stříhaný materiál, nástroj a tlak přidržovače a vyhazovače jsou zásadní pro výslednou rozměrovou přesnost a drsnost. Drsnost plochy odpovídá Ra 0,4 až 1,6 μm, ale její zhoršení se výrazně odvíjí od nevhodně zvoleného postranního odpadu, můstku nebo protitlaku. U tlustých plechů je drsnost v obvodovém směru proměnlivá. Rozměrová přesnost odpovídá základním tolerancím ve stupnici lícování, jak je možné vidět v tab. 5. [26]

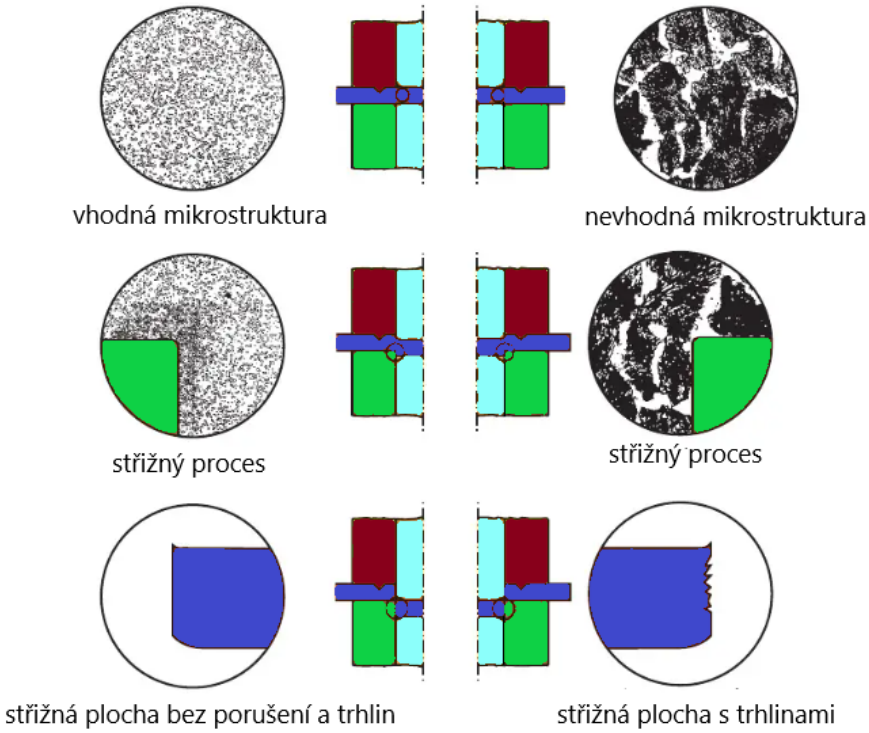
Tab. 5 Dosažitelná tolerance vyráběných součástí přesným stříháním [36].

	Do meze pevnosti 500 MPa			Nad mez pevnosti 500 MPa		
Tloušťka materiálu [mm]	Vnitřní tvary IT	Vnější tvary IT	Tolerance roztečí [mm]	Vnitřní tvary IT	Vnější tvary IT	Tolerance roztečí [mm]
0,5 – 1	6 - 7	7	±0,01	7	8	±0,01
1 - 2	7	7	±0,015	7 – 8	8	±0,015
2 - 3	7	7	±0,02	8	8	±0,02
3 – 4	7	8	±0,02	8	9	±0,03
4 – 5	7 – 8	8	±0,03	8	9	±0,03
5 - 6	8	9	±0,03	8 – 9	9	±0,03
> 6	8 - 9	9	±0,03	9	9	±0,03

Na obr. 37 je znázorněno, jakým způsobem se od sebe odlišuje střižná plocha zhotovená za pomoci přesného stříhání **a** od plochy, na kterou bylo využito technologie konvenčního **b.** Rozdílnost kvality výsledných ploch je možné rozeznat pouhým okem.

Obr. 37 Střižné plochy [39].

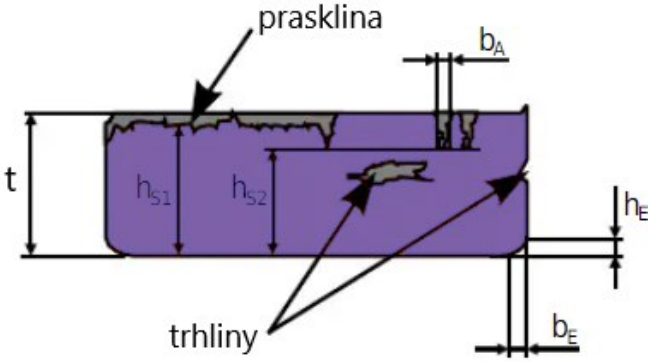
V případě přesného stříhání by měla být střižná plocha hladká po celé tloušťce plechu. Občas však může dojít ve struktuře k trhlinám, které závisí především na mikrostruktuře materiálu. Příklad vlivu mikrostruktury materiálu u oceli 12 050 je možné vidět na obr. 38. Na pravé straně je ocel ve stavu, kdy není žíhaná naměkko, a její struktura obsahuje ferit a perlit. Při procesu musí být tvrdé lamely cementitu rozbity pomocí působení střižníku na materiál a výsledkem je střižná plocha s trhlinami. Pro levou stranu na obr. 35 platí, že ocel 12 050 je v žíhaném stavu, tedy po tepleném zpracování, což má za následek, že mikrostruktura obsahuje feritovou matrici s globulárním cementitem. Zde při procesu stříhání nedochází k rozbíjení globulárních zrn cementitu, ale k jejich vtlačování do měkké feritické matrice. Výsledná střižná plocha je pak tedy bez trhlin. [36]



Obr. 38 Vhodná a nevhodná mikrostruktura 12 050 [36].

Další možnou vadou v mikrostruktuře jsou praskliny, které je možné vidět na obr. 39, které nejvíce ovlivňuje střižná vůle. Kritériem pro posouzení kvality střižné plochy $\mathbf{h_s/t}$ v procentech. Jedním z faktorů, které lze dále sledovat je stažení hran, kde se hodnotí šířka $\mathbf{b_E}$ a výška $\mathbf{h_E}$, na které mají vliv vnitřní a vnější úhly a poloměry směřující do rohů. V případě výšky stažené

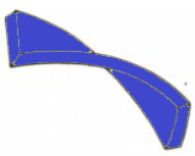
hrany platí pravidla, že u přímých tvarů je stažení menší než 10 % tloušťky a u zakřivených tvarů může být až 20 % tloušťky. U extrémně nepříznivých tvarů jako jsou ostré zuby, hroty apod. může být maximálně 30 % tloušťky. Jedná-li se o měkké materiály, stažení je větší než v případě materiálu tvrdého. [36; 26]



Obr. 39 Vady na střižné plochy [36].

Žádná střižná plocha nemůže být ve skutečnosti vytvořena bez otřepu, a tedy i v případě přesného stříhání vznikají otřepy, ač minimální. V důsledku opotřebení střižníku a střižnice se rozměry otřepu zvětšují. Dále se jeho velikost odvíjí od stříhaného materiálu a tloušťky plechu. Ovšem výška otřepu není tak podstatná jako šířka otřepu, přičemž otřep se širší základnou vzniká při stříhání se zaoblenými hranami střižnice. Příklady dalších závad, které mohou nastat, jsou uvedeny v tab. 6. [36; 26]

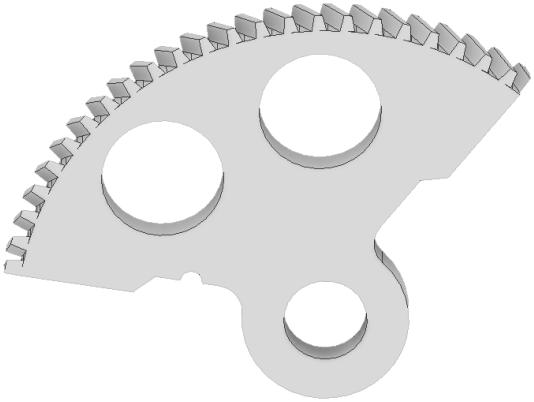
Tab. 6 Příklady závad při přesném vystřihování [26].

	Tvar výstřižku	Stav střižné plochy	Příčina
1		Kuželovité	Zaoblení střižnice je velké
2		Zvlněná a kuželová	Střižná vůle je malá
3		Velký poloměr	Zaoblení střižnice je velké, malý protitlak
4		Plocha vypouklá	Malý protitlak, kontrola oleje na pásu nebo pruhu
5		Výstřižek je podélně prohnut	Napětí v materiálu
6		Výstřižek je zkroucený	Napětí v materiálu, poloha výstřižku, nepříznivý průběh vláken, nesoučasné vyhazování

V souladu s tab. 6 se v případě č. **1** jeví jako řešení problému střižnici přebrousit a méně zaoblit. Je-li střižná plocha zvlněná a kuželová jako u případu č. **2,** je řešení prosté – postačí zvětšit střižnou vůli. V případě **3** pak může být řešením střižnici přebrousit a méně zaoblit, popřípadě změnit konstrukci, a to tak, že tlačná hrana bude na střižnici. Případně je možné zvětšit protitlak v závislosti na tvaru výstřižku. Je-li plocha vypouklá jako u případu č. **4,** je možné zvýšit protitlak a vybrousit více drážek na přidržovači k odvodu oleje. V případě č. **5** se jeví jako řešení použít polotovar s odstraněným pnutím, popřípadě v procesu zakomponovat rovnačku nebo vystřiženou součást rovnat. Jestliže je výstřižek zkroucený podle č. **6,** je řešení sofistikovanější. Jednou z možností je jej vyžíhat k odstranění vnitřního pnutí materiálu. Dále je možné provést změnu polohy výstřižku na pásu, popřípadě pruhu plechu, nebo zkontrolovat tloušťku a souměrnost vyhazovaných výstřižků a délku vyhazovacích kolíků. [26]

3 NÁVRH ŘEŠENÍ

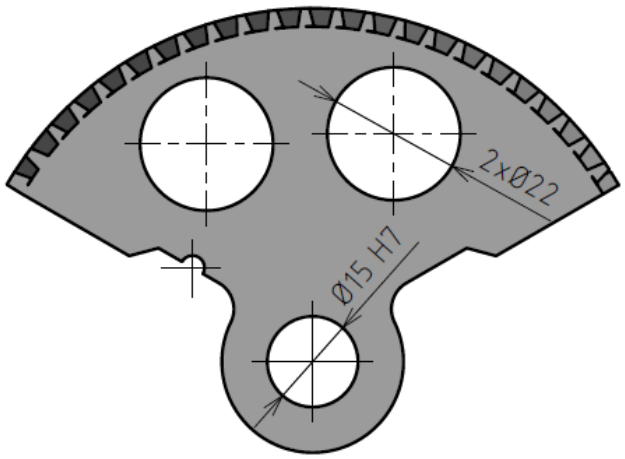
Řešeným dílcem je startovací segment dle obr. 40, který bude vyráběn v sérii 60 000 ks/rok. Co se týče materiálu, jedná se o ocelový plech 11 373.0 o tloušťce 6 mm, jehož mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tab. 2. Základní rozměry součásti činí 101 x 74 mm a tvar je tvořen z jedné třetiny kružnicí o průměru 116,8 mm, viz. obr. 4. Po obvodu je zhotoveno ozubení se šikmými zuby a celkově je součást odlehčena pomocí dvou otvorů o průměru 22 mm. Dále je zde otvor o průměru 15 mm s předepsanou přesností H7. V rovných částech po obvodu jsou vytvořeny drážky, přičemž v jedné z nich je vystřižen půlkruhový otvor. Netolerované rozměry jsou tolerovány v souladu s normou pro netolerované rozměry ČSN ISO 2768-1 pro střední stupeň přesnosti. Kompletní rozměry jsou uvedeny na výrobním výkrese součásti 2023-DP-213014-01, který je součástí výkresové dokumentace.



Obr. 40 Startovací segment.

Pro návrh řešení je nutné u součásti provést kontrolu technologičnosti a ověření vyrobitelnosti s tím, že při jejich nesplnění by muselo dojít k úpravě konstrukce součásti. Pro případ přesného stříhání s nátlačnou hranou bylo u zadané součásti zjištěno a ověřeno následující:

- Dle tab. 4 je navržený materiál 11 373.0 pro přesné stříhání velmi vhodný.
- Po obvodu součásti nejsou ostré zářezy nebo jiné vyčnívající části.
- Pro minimální průměr otvoru platí, že je-li tloušťka plechu větší než 3 mm, tak:
  $$d_{min} = 0{,}7 \cdot t = 0{,}7 \cdot 6 = 4{,}2\ mm \quad (3.1)$$
  tudíž dané otvory dle obr. 41 jsou bez problému vyrobitelné.



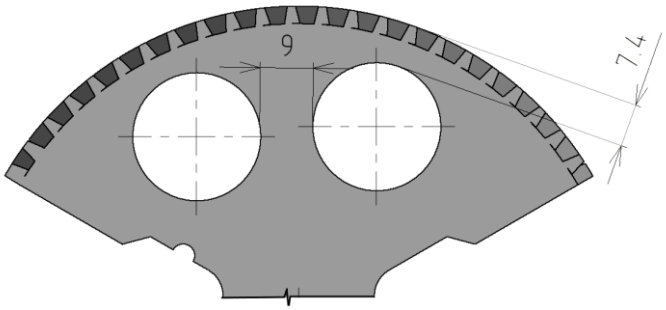
Obr. 41 Rozměry otvorů.

- Požadovaná přesnost H8 u otvoru o průměru 15 mm je dle tab. 5 touto technologií výroby dosažitelná.

- Pro stanovení minimální vzdálenosti mezi otvory $\boldsymbol{W_1}$ je nutné nejprve stanovit dle grafu na obr. 33 minimální možný rozměr mezi drážkou a otvorem $\boldsymbol{W_2}$, protože se od ní odvíjí. Tudíž pro zadanou součást byla stanovena mez kluzu $\mathbf{R_m}$ v rozmezí 340-470 MPa, pro následující výpočty bude využíváno hodnoty 470 MPa, a to z toho důvodu, že na této hodnotě nastanou nejhorší možné podmínky. Tloušťka součásti je 6 mm. Při znalosti vstupních parametrů je možné odečíst příslušnou hodnotu $\boldsymbol{W_2}$ dle již zmíněného grafu (obr. 33). Ovšem pro mez pevností 470 MPa není nomogram stanoven, a tudíž se odečte pro náročnější variantu, což je přímka pro 600 MPa. Potom hodnota $\boldsymbol{W_2}$ odpovídá 4,1 mm. Ze stanovené vzdálenosti $\boldsymbol{W_2}$ je poté možné stanovit vzdálenost mezi otvory $\boldsymbol{W_1}$ jako:

$$W_1 \geq 0{,}85 \cdot W_2 \qquad (3.2)$$
$$W_1 \geq 0{,}85 \cdot 4{,}1$$
$$W_1 \geq 3{,}485\ mm$$

Na součásti dle obr. 42 je vzdálenost mezi otvory 9 mm a při porovnání s vypočtenou hodnotou 3,5 mm je vyhovující.



Obr. 42 Vzdálenost otvorů.

- Pro minimální vzdálenost otvorů od kraje dle přílohy 1 platí, že:

$$a_{min} = 0{,}6 \cdot t = 0{,}6 \cdot 6 = 3{,}6\ mm \qquad (3.3)$$

Jak je patrné z obr. 42, vzdálenost otvoru od kraje je 7,4 mm a vypočtená hodnota je 3,6 mm, a tedy vzdálenost otvoru od okraje na součásti je dostačující.

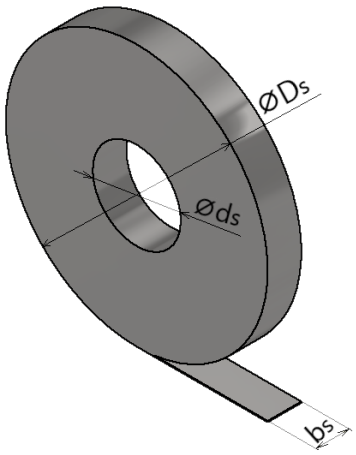
- Přesnost dosažitelné rozteče mezi otvory (obr. 42) dle tab. 5, jež odpovídá hodnotě ±0,03, je při porovnání s hodnotou ±0,2, která je stanovena dle normy ČSN ISO 2768-1 pro střední přesnost, vyhovující.
- Co se týče tvorby ozubení, pomocí přesného stříhání nebude možné zhotovit šikmé ozubení, a tudíž bude nutné po přesném vystřižení součásti ještě využít další dokončovací operaci, a to frézování ozubení. Tvar součásti, který bude zhotoven technologií přesného stříhání, je znázorněn na obr. 43.

Obr. 43 Budoucí tvar výstřižku.

Po posouzení technologičnosti je možné prohlásit, že zadanou součást je možné přesným stříháním vyrobit, a to vyjma ozubené části, v požadované přesnosti.

3.1 Nástřihový plán

Pro navržení hospodárné výroby z pohledu využití materiálu slouží nástřihový plán, pro jehož konstrukci je předně nutné stanovit velikost můstku a vzdálenost výstřižku od okraje plechu. Pro stanovení daných hodnot se bude vycházet z grafu obr. 32, kde hodnota můstku $\mathbf{b_2}$ pro tloušťku 6 mm odpovídá 8,5 mm a hodnota vzdálenosti od okraje $\mathbf{b_1}$ je 7 mm. Další nedílnou součásti pro vyhotovení nástřihového plánu je forma, ve které bude plech dodáván. Jelikož se jedná o výrobní sérii 60 000 ks/rok, jeví se jako vhodná volba plech ve formě svitku (obr. 44), a to z důvodu automatizace výroby. Svitek plechu má již odpovídající požadovanou šířku a pro jeho využití je nutné mít odvíjecí zařízení, které bude zahrnuto v konstrukci odvíjecí linky. Je navržena v kompaktním provedení, jelikož se jedná o plech tloušťky 6 mm, přičemž její parametry jsou uvedeny v příloze 2. Hydraulický trn na odvíjecím zařízení je možné nastavit od 470 mm do 530 mm, vycházející hodnotou bude $\emptyset\, \boldsymbol{d_s}$ 470 mm. Maximální průměr svitku $\emptyset\, \boldsymbol{D_s}$ je 1400 mm.



Obr. 44 Svitek plechu.

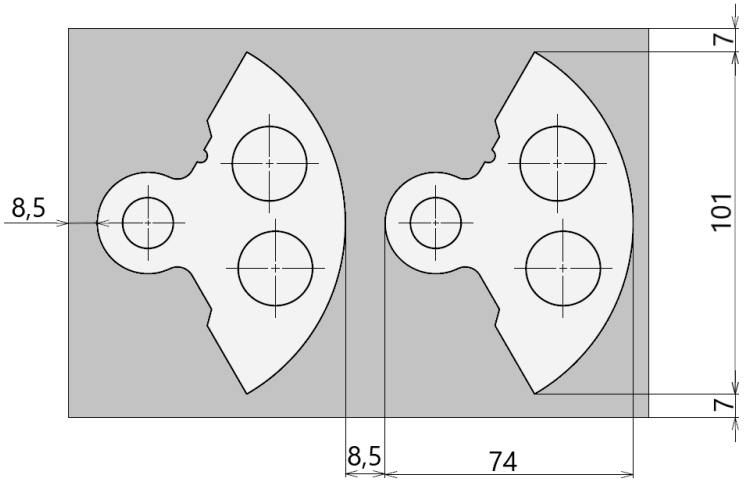
Pro stanovení délky svitku se vychází z výpočtu pro plochu mezikruží, která je upravena do tvaru:

$$l_s = \frac{D_s^2 - d_s^2}{4 \cdot t} \cdot \pi = \frac{1400^2 - 470^2}{4 \cdot 6} \cdot \pi = 227648\, mm \tag{3.4}$$

Dle stanovené délky bude dodáván svitek o délce 227,6 m. S danou délkou bude dále počítáno.

Nyní je nutné navrhnout rozložení součásti na budoucím polotovaru v několika variantách:

- Variantou A je rozložení součásti dle obr. 45.



Obr. 45 Rozložení součásti varianta A.

Při využití jednotlivých již stanovených hodnot můstku a vzdálenosti okrajů je možné stanovit velikost kroku jako:

$$K = B + b_2 = 74 + 8{,}5 = 82{,}5\ mm \tag{3.5}$$

kde: B – dle obr. 42 odpovídá rozměru 74 mm

Dále se stanoví šířka plechu, a to prostřednictvím stanovených vzdáleností od okrajů součásti:

$$\check{S} = A + 2 \cdot b_1 = 101 + 2 \cdot 7 = 115\ mm \tag{3.6}$$

kde: A – dle obr. 42 odpovídá rozměru 101 mm

Nyní je třeba stanovit, kolik je možné zhotovit výstřižků z jednoho svitku. Počet se vypočítá jako:

$$n_v = \frac{l_s - l_0}{K} = \frac{227\,600 - 100}{82{,}5} = 2757{,}58\ ks \tag{3.7}$$

kde: l_0 – potřebná délka pro zavedení pásů [mm]

Z jednoho svitku je tedy možné zhotovit 2757 ks.

Pro zajištění požadovaných počtu kusů je nutné stanovit celkový počet potřebných svitků jako:

$$n_{ps} = \frac{60000}{2757} = 21{,}76\ ks \tag{3.8}$$

Pro výrobu bude potřeba 21 svitků plné délky.

Procentuální využití materiálu se následně stanoví podle (2.19):

$$\eta = \frac{n_v \cdot S_{vp}}{\check{S} \cdot l_s} \cdot 100 = \frac{2757 \cdot 3917{,}823}{115 \cdot 227600} \cdot 100 = 41{,}27\ \%$$

kde: S_{vp} - plocha plné součásti [mm^2], která byla stanovena pomocí aplikace Autodesk Inventor 2021 a odpovídá 3917,823 mm^2.

Výsledný počet svitků byl zaokrouhlen dolů, přičemž zbývající potřebná délka u posledního svitku bude řešena formou neúplného svitku. Co se týče jeho délky, bude tedy neúplným, jelikož to odpovídá záměru ekonomicky výhodné výroby. Daného cíle je možné dosáhnout také s přihlédnutím k tomu, že je zároveň dodavatel schopen navinout i takový svitek, jež má menší délku a vyhovět tak veškerým požadavkům kladeným na hospodárnost výrobního procesu. Poslední svitek tedy bude navržen zvlášť, a to tak, že bude mít menší průměr, který bude přizpůsoben zbývající potřebné délce. Vnější průměr se stanoví jako:

$$D_{sn} = \sqrt{0{,}76 \cdot (D_s^2 - d_s^2) + d_s^2} = \sqrt{0{,}76 \cdot (1400^2 - 470^2) + 470^2} = \\ = 1242{,}02\ mm \tag{3.9}$$

Neúplný svitek bude mít průměr 1250 mm.

Potom rozvinutá délka svitku o průměru 1250 mm odpovídá:

$$l_n = \pi \cdot \frac{D_{sn}^2 - d_s^2}{4 \cdot t} = \pi \cdot \frac{1250^2 - 470^2}{4 \cdot 6} = 175615{,}03\ mm \tag{3.10}$$

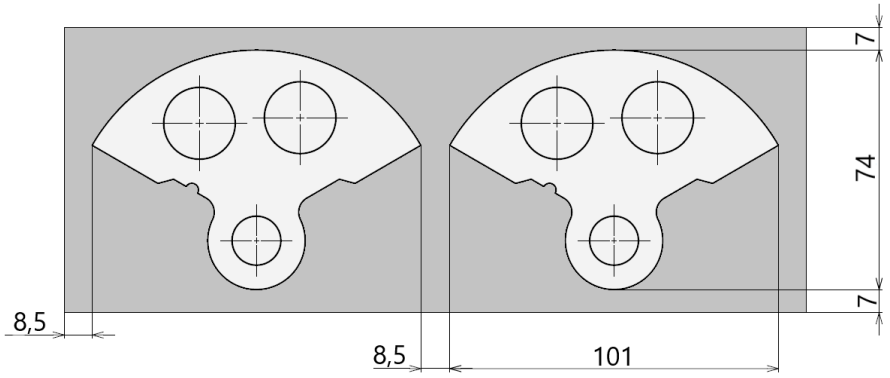
Počet dílu z neúplného svitku potom odpovídá:

$$n_{vn} = \frac{l_n - l_0}{K} = \frac{(175615{,}03 - 100)}{82{,}5} = 2127\ kusů \tag{3.11}$$

Obdobně se stanoví i procentuální využití materiálu:

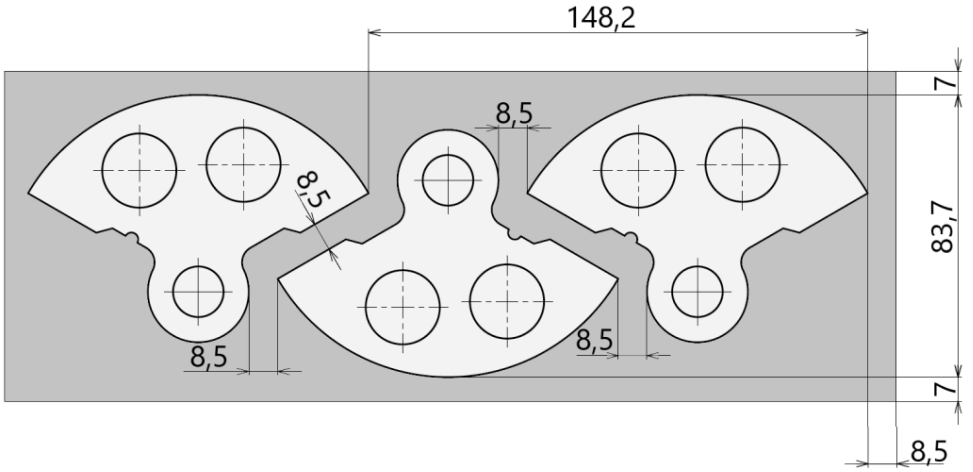
$$\eta_{ns} = \frac{n_{vn} \cdot S_{vp}}{\check{S} \cdot l_n} \cdot 100 = \frac{2127 \cdot 3917{,}823}{115 \cdot 145615{,}03} \cdot 100 = 49{,}76\ \% \tag{3.12}$$

- Variantou B je obdoba varianty A, přičemž byla změněna orientace o 90 °, a to se současným zachováním potřebných vzdáleností můstků a také od okrajů tak, jak je patrné z obr. 46.



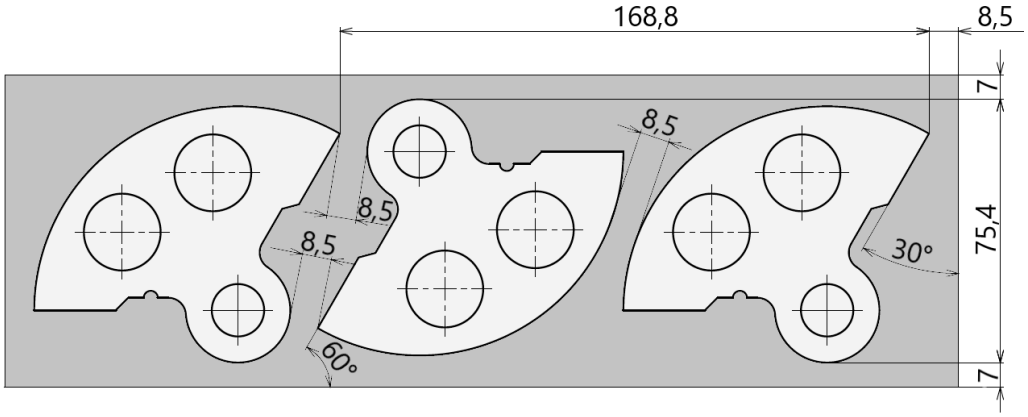
Obr. 46 Rozložení součásti varianta B.

- Varianta C, která je znázorněna na obr. 47, vycházející z rozložení ve variantě B. Rozdílem budiž to, že budou stříhány dvě součásti najednou, a to tak, že budou vzájemně otočeny o 180 °. Dále jsou mezi sebou od původní hodnoty 74 mm posunuty ve směru šířky pásu o 9,7 mm, a to pro dodržení nezbytných vzdáleností.



Obr. 47 Rozložení součásti varianta C.

- Varianta D, jak je patrné z obr. 48, je obdobná předchozí variantě C. Zde jsou ovšem součásti vzájemně natočeny o úhel 30 ° a 60 °. Součásti jsou nyní mezi sebou posunuty od původní hodnoty o hodnotu 1,4 mm.



Obr. 48 Rozložení součásti varianta D.

Vypočtené hodnoty pro všechny varianty jsou uvedeny v tab.7. V tab. 8 jsou následně uvedeny hodnoty navržených neúplných svitků pro jednotlivé varianty řešení.

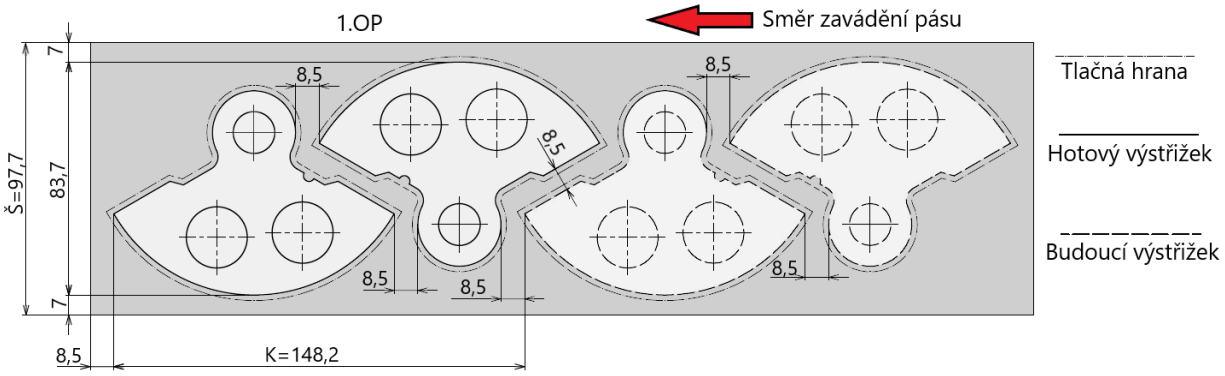
Tab. 7 Výsledky variant rozložení součásti.

Varianta	A [mm]	B [mm]	b_1 [mm]	b_2 [mm]	K [mm]	Š [mm]	n_v [ks]	n_{ps} [ks]	η [%]
A	74	101	7	8,5	82,5	115	2757	21,76	41,27
B	101	74	7	8,5	109,5	88	2077	28,89	40,63
C	83,7	-	7	8,5	148,2	97,7	3070	19,54	54,09
D	75,4	-	7	8,5	168,8	89,4	2695	22,26	51,89

Tab. 8 Výsledky neúplných svitků pro dané varianty rozložení.

Varianta	D_{sn} [mm]	l_n[mm]	n_{vn} [ks]	η_{ns} [%]
A	1250	175615,03	2127	49,76
B	1330	202632,73	1849	40,62
C	1085	125182,65	1688	54,07
D	830	61261,06	724	51,79

Dle vypočtených hodnot vyšla vzhledem k procentuálnímu využití materiálu nejlépe varianta C, jejíž využití bylo stanoveno na 54,09 %. Pro danou variantu je nutné zajistit 19 svitků plechu a 1 neúplný o průměru 1085 mm s využitím 54,07 %. Pro dané řešení byl vyhotoven nástřihový plán (obr. 49). Dle něj budou na 1 operaci (na jeden zdvih stroje) zhotoveny 2 součásti najednou.



Obr. 49 Nástřihový plán

3.2 Technologické parametry

Pro dosažení kvalitního výsledku je nutné vhodně navrhnout technologické parametry, jejichž specifičnost se odvíjí od použití technologie přesného stříhání. Konkrétněji se jedná o:

- Střižnou mezeru, jejíž výpočet je závislý na tloušťce materiálu. Jelikož součást má tloušťku 6 mm, a tudíž je větší než 3 mm, stanoví dle vztahu (2.12):

$$z = (1{,}5 \cdot c \cdot t - 0{,}0015) \cdot 0{,}32 \cdot \sqrt{\tau_s} =$$

$$= (1{,}5 \cdot 7 \cdot 10^{-4} \cdot 6 - 0{,}0015) \cdot 0{,}32 \cdot \sqrt{361{,}9} = 0{,}02922\ mm$$

kde: c – ocel 11 373.0 je bežná ocel, součinitel závislý na druhu stříhání bude odpovídat $7 \cdot 10^{-4}$,

t – tloušťka plechu odpovídající 6 mm,

τ_s – střižný odpor, který se stanoví podle (2.3):

$$\tau_s = 0{,}77 \cdot R_m = 0{,}77 \cdot 470 = 361{,}9\ MPa$$

kde: R_m byla stanovena na 470 MPa.

Střižná mezera byla vypočtena a odpovídá hodnotě 0,029 mm. Hodnota bude porovnána s přibližným výpočtem, kdy střižná mezera odpovídá 0,5 % tloušťky plechu. Tudíž:

$$z_{ob} = 0{,}005 \cdot 6 = 0{,}03\ mm. \qquad (3.13)$$

Při porovnání obou výsledků se rozdíl jeví jako nepatrný, může mít však vliv na kvalitu výsledné střižné plochy, a proto bude dále počítáno s hodnotou 0,029 mm.

- Střižnou vůli, jež se stanoví pomocí vztahu (2.10):

  $$v = 2 \cdot z = 2 \cdot 0{,}029 = 0{,}058\ mm$$

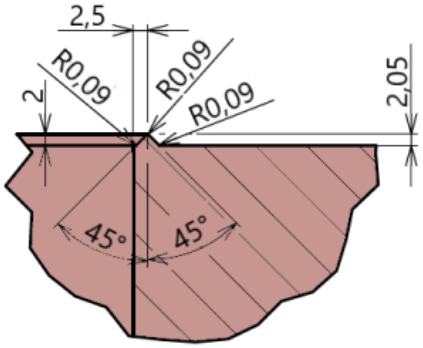
  S vypočtenou vůlí 0,058 mm bude dále uvažováno při návrhu nástroje, kde daná vůle musí být dodržena mezi funkčními částmi nástroje a zajištěna vhodným uložením.
- Geometrii tlačné hrany:
  - Rozhodujícím faktorem pro umístění tlačné hrany je tloušťka plechu. Na součásti je tloušťka 6 mm, což je větší než 4 mm. Z toho vyplývá, že tlačná hrana bude vyrobena jak na střižnici, tak i na přidržovači.
  - Při stanovení výšky tlačné hrany se vychází z kvality a tloušťky materiálu. V případě materiálu 11 373 jde o materiál s dobrou tvařitelností a to znamená, že se výška tlačné hrany stanoví dle vztahu (2.14):

    $$h = \frac{1}{3} \cdot t = \frac{1}{3} \cdot 6 = 2\ mm$$
  - Jelikož bude využito tlačné hrany jak na střižnici, tak i na přidržovači, bude potom celková hloubka vniku odpovídat součtu výšek obou hran. V daném případě se jedná o součet rovný 4 mm.
  - Vzdálenost tlačné hrany od obrysu součásti je závislá na výšce tlačné hrany a stanoví se dle vztahu (2.15):

    $$a = (0{,}6\ až\ 1{,}2) \cdot h = 1 \cdot 2 = 2\ mm$$

    Při vzdálenosti 2 mm by hrozilo zdeformování hrany výstřižku, a proto bude navržena hodnota vzdálenosti 2,5 mm.
  - Za tlačnou hranou se nachází odlehčení, které podle vztahu odpovídá (2.16):

    $$h_1 = \mathrm{h} + 0{,}05 = 2 + 0{,}05 = 2{,}05\ mm$$
  - Dále je nutné stanovit úhly na tlačné hraně. Jelikož se jedná o tloušťku 6 mm, která je větší než 4 mm, tak úhly jsou si rovné a svírají 45 °. Výsledná navržená geometrie je znázorněna na obr. 50.



Obr. 50 Geometrie navržených tl. hran.

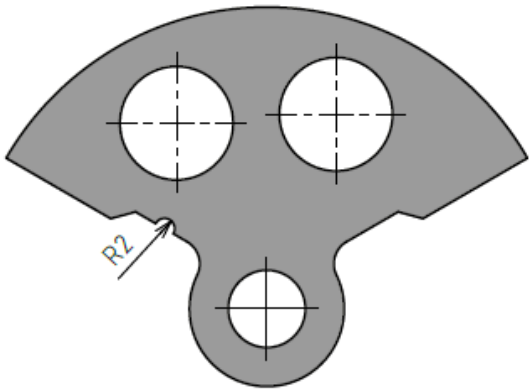
  - Pro navržení tlačné hrany je nutné zkontrolovat zářez v podobě rádiusu 2 mm (obr.51), který musí splňovat zásadu (2.18):

    $$b > 15 \cdot h$$

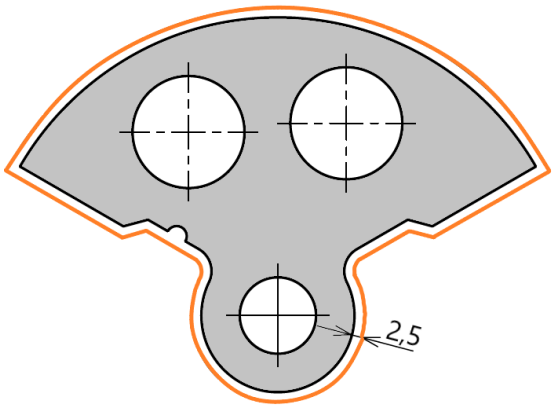
    $$4 > 15 \cdot 2$$

    $$4 > 30$$

    Podmínka není splněna, a tedy v případě daného zářezu nebude tlačná hrana kopírovat obrys součásti.
  - Jelikož je možné ji navrhnout podle obrysu součásti, bude daným způsobem zkonstruována, a to vyjma daného rádiusu, tak, jak je možné vidět na obr. 52.



Obr. 51 Zářez na součásti.



Obr. 52 Tvar navržených tlačných hran.

- Působící síly, při kterých je nutné uvažovat, že dle nástřihového plánu se budou stříhat dvě součásti v 1 operaci. Stanoví se potom jako:
  - Jednou z hlavních složek působících sil je střižná síla, která je nutná stanovit pro samotné vystřižení součásti dle vztahu (2.2):

$$F_s = 2 \cdot (l \cdot t \cdot n \cdot \tau_s) = 2 \cdot (650{,}75 \cdot 6 \cdot 1{,}2 \cdot 361{,}9) = 3391281{,}9\ N$$

kde: n – součinitel otupení [-]; byl zvolen 1,2,
l - délka křivky střihu, která odpovídá (obr. 53):

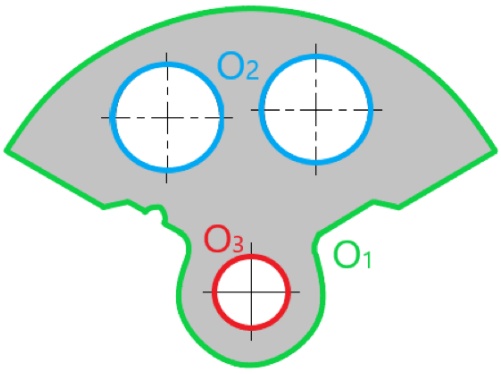
$$l = O_1 + 2 \cdot O_2 + O_3 = 465{,}4 + 2 \cdot 69{,}12 + 47{,}12 = 650{,}75\ mm \quad (3.14)$$

kde: O_1 byla stanovena pomocí aplikace Inventor 2021 a odpovídá hodnotě 465,394 mm,
O_2 je možná stanovit pomocí vztahu:

$$O_2 = \pi \cdot d_2 = \pi \cdot 22 = 69{,}12\ mm. \quad (3.15)$$

O_3 se stanoví za použití vzorce:

$$O_3 = \pi \cdot d_3 = \pi \cdot 15 = 47{,}12\ mm. \quad (3.16)$$



Obr. 53 Znázornění vypočtených obvodů.

Pro samotné vystřižení je tedy nutné zajistit sílu 3391282 N.

  - Další hlavní složkou působících sil je přidržovací síla, kterou je nutné vhodně navrhnout pro dosažení kvalitního výsledku. Vychází se ze vzorce (2.4):

$$F_p = 2 \cdot [L_h \cdot h \cdot (tg\gamma + tg\beta) \cdot R_e] = 2 \cdot [477{,}3 \cdot 2 \cdot (tg45° + tg45°) \cdot 235] = 897378{,}5\ N$$

kde: L_h - délka nátlačné hrany stanovena z Inventoru a odpovídá 477,3 mm,
R_e – mez kluzu, která je zvolena 235 MPa pro zajištění dostatečné přidržovací síly i v případě nejhorších podmínek.

Přidržovač bude muset působit silou 897378,5 N.

- Poslední hlavní složkou působících sil je síla vyhazovače, kterou lze stanovit dle (2.5):
  $F_v = 2 \cdot (S_v \cdot p) = 2 \cdot (3917{,}8 \cdot 50) = 391782{,}3\ N$
  kde: p – měrný tlak, který byl zvolen 50 MPa.
  Pro vyhození výstřižku bude nutné vyvinout sílu 391782,3 N.
- Z jednotlivých složek je možné vyjádřit celkovou sílu, jež odpovídá dle vztahu (2.1):
  $F_c = F_s + F_p + F_v = 3391282 + 897378{,}5 + 391782{,}3 = 4680442{,}7\ N$
  Pro vystřižení součásti je nutné, aby navržený stroj zajistil síly odpovídající celkové síle 4680442,7 N.

- Při stanovení vynaložené práce se musí obdobně počítat s vystřižením dvou součástí v jedné operaci. Stanovuje se:
  - Spotřebovaná střižná práce se vypočítá dle (2.7):
    $$A_s = 2 \cdot \left(\frac{0{,}48 \cdot l \cdot t^2 \cdot R_m}{1000}\right) = 2 \cdot \left(\frac{0{,}48 \cdot 650{,}75 \cdot 6^2 \cdot 470}{1000}\right) = 10570{,}23\ J$$
    Pro samotné vystřižení součásti je zapotřebí 10570,23 J.
  - Práce potřebná pro zatlačení tlačné hrany odpovídá (2.8):
    $$A_p = 2 \cdot \left(\frac{2 \cdot R_m \cdot L_h \cdot h}{1000}\right) = 2 \cdot \left(\frac{2 \cdot 470 \cdot 477{,}3 \cdot 2}{1000}\right) = 1794{,}76\ J$$
    Pro zatlačení tlačné hrany do materiálu je zapotřebí práce rovné 1794,76 J.
  - Práce k překonání síly vyhazovače se stanoví dle (2.9):
    $$A_v = 2 \cdot \left(\frac{S_v \cdot p \cdot t}{1000}\right) = 2 \cdot \left(\frac{3917{,}8 \cdot 50 \cdot 6}{1000}\right) = 2350{,}69\ J$$
    Spotřebovaná práce pro vyhození výstřižku odpovídá 2350,69 J.
  - Následně celková práce odpovídá dle vztahu (2.6):
    $A_c = A_s + A_p + A_v = 10570{,}23 + 1794{,}76 + 2350{,}69 = 14715{,}68$ J
    Celková práce je tedy rovna 14715,68 J a bude s ní dále uvažováno při návrhu stroje.

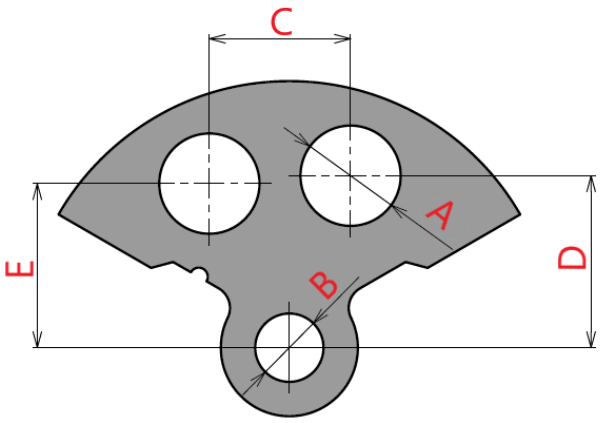
3.2.1 Funkční rozměry střižníků a střižnice

Při stanovení funkčních části střižníku a střižnice bude vycházeno z normy ČSN 22 6015 [41]. Při návrhu je prvně nutné klasifikovat jednotlivé rozměry podle druhu střihu, tedy zda se bude jednat o vystřihování nebo děrování. Dále je nutné stanovit, jestli se vlivem opotřebení rozměry budou zvětšovat nebo naopak zmenšovat, popřípadě zda se nebudou měnit. Na součásti se budou děrovat 3 otvory (obr. 54) a vystřihovat obrys (obr. 55). Rozměry se pro ně stanoví:

- Pro děrované rozměry v tab. 9 byly pomocí normy ČSN 22 6015 stanoveny hodnoty přípustné míry opotřebení **P**, výrobní tolerance střižnice $\boldsymbol{\delta_e}$ a výrobní tolerance střižníku $\boldsymbol{\delta_k}$.

Tab. 9 Hodnoty funkčních rozměrů s tolerancemi pro děrování. [41]

Rozměr	Jmenovitý rozměr s tolerancí [mm]	Přípustná míra opotřebení P [mm]	Výrobní tolerance střižnice δ_e [mm]	Výrobní tolerance střižníku δ_k [mm]
A	Ø22±0,2	0,310	0,120	0,074
B	Ø15 H8	0,025	0,008	0,005
C	31±0,3	0,460	0,190	0,120
D	37,7±0,3	0,460	0,190	0,120
E	36±0,3	0,460	0,190	0,120



Obr. 54 Znázornění děrovaných rozměrů.

Pro jednotlivé rozměry je pak možné za pomocí normy ČSN 22 6015 stanovit rozměry střižníku a střižnice:

- V případě rozměru **A** se s vlivem opotřebení bude měnit rozměr na součásti tak, že se bude zmenšovat. Potom se rozměr střižníku a střižnice stanoví:
  - Pro rozměr střižníku platí:

$$A_{kA} = (JRA + \frac{P}{2})_{-\delta_k} = (22 + \frac{0{,}31}{2})_{-0{,}074} = 22{,}155_{-0{,}074}\ mm \qquad (3.17)$$

kde: JRA – jmenovitý rozměr, z tab. 9 odpovídá 22 mm.

  - Pro rozměry střižnice:

$$A_{cA} = \left(JRA + \frac{P}{2} + v\right)^{+\delta_e} = \left(22 + \frac{0{,}31}{2} + 0{,}058\right)^{+0{,}12} = \qquad (3.18)$$

$$= 22{,}213^{+0{,}12}\ mm$$

- Jedná-li se o rozměr **B**, je vliv opotřebení obdobný jako v případě rozměru **A**. Tudíž při návrh střižníku a střižnice se postupuje obdobně:
  - Pro rozměr střižníku platí:

$$A_{kB} = (JRB + \frac{P}{2})_{-\delta_k} = (15 + \frac{0{,}025}{2})_{-0{,}005} = 15{,}0125_{-0{,}005}\ mm \qquad (3.19)$$

kde: JRB – jmenovitý rozměr, z tab. 9 odpovídá 15 mm.

  - Pro rozměry střižnice:

$$A_{cB} = \left(JRB + \frac{P}{2} + v\right)^{+\delta_e} = \left(15 + \frac{0{,}025}{2} + 0{,}058\right)^{+0{,}008} = \qquad (3.20)$$

$$= 15{,}0705^{+0{,}008}\ mm$$

Pro dané rozměry budou uvedeny vypočtené a navržené rozměry v tab. 10

Tab. 10 Vypočtené a navržené rozměry střižníku a střižnice při děrování pro zmenšující rozměry.

Rozměr	Vypočtený rozměr střižníku Ak	Vypočtený rozměr střižnice Ac	Navržený rozměr střižníku Ak	Navržený rozměr střižnice Ac
A	$22{,}155_{-0{,}074}$	$22{,}213^{+0{,}12}$	$22{,}16_{-0{,}07}$	$22{,}21^{+0{,}12}$
B	$15{,}0125_{-0{,}005}$	$15{,}0705^{+0{,}008}$	$15{,}01_{-0{,}01}$	$15{,}07^{+0{,}01}$

- Na rozměr **C, D a E** má opotřebení vliv takový, že daný rozměr na součástce se s opotřebením měnit nebude. Dále bude proveden výpočet pro rozměr **C**, a tedy pro rozměr mezi střižníky a na střižnici platí:
  - Pro rozměr mezi střižníky:

$$A_{kC} = (JRC) \pm \delta_k = 31 \pm 0{,}12\ mm \qquad (3.21)$$

kde: JRC – jmenovitý rozměr, z tab. 9 odpovídá 31 mm.

➢ Pro rozměr na střižnici:

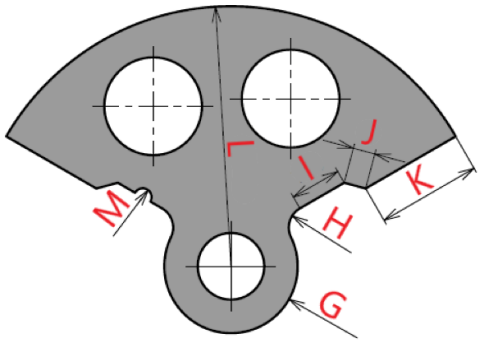
$$A_{cC} = (JRC) \pm \delta_e = 31 \pm 0{,}19\ mm \tag{3.22}$$

Pro dané rozměry budou uvedeny vypočtené a navržené rozměry v tab. 11

Tab. 11 Vypočtené a navržené rozměry střižníku a střižnice při děrování pro neměnné rozměry.

Rozměr	Vypočtený rozměr střižníku Ak	Vypočtený rozměr střižnice Ac	Navržený rozměr střižníku Ak	Navržený rozměr střižnice Ac
C	$31 \pm 0{,}12$	$31 \pm 0{,}19$	$31 \pm 0{,}12$	$31 \pm 0{,}19$
D	$37{,}7 \pm 0{,}12$	$37{,}7 \pm 0{,}19$	$37{,}7 \pm 0{,}12$	$37{,}7 \pm 0{,}19$
E	$36 \pm 0{,}12$	$36 \pm 0{,}19$	$36 \pm 0{,}12$	$36 \pm 0{,}19$

- Vystřižené rozměry (obr. 55) jsou uvedeny v tab. 11, pro tyto byly stanoveny pomocí normy ČSN 22 6015 hodnoty přípustné míry opotřebení **P**, výrobní tolerance střižnice $\boldsymbol{\delta_e}$ a výrobní tolerance střižníku $\boldsymbol{\delta_k}$.



Obr. 55 Znázornění vystřižených rozměrů.

Tab. 12 Hodnoty funkčních rozměrů s tolerancemi pro vystřihování. [41]

Rozměr	Jmenovitý rozměr s tolerancí [mm]	Přípustná míra opotřebení P [mm]	Výrobní tolerance střižnice δ_e [mm]	Výrobní tolerance střižníku δ_k [mm]
G	$R15 \pm 0{,}2$	0,310	0,120	0,074
H	$R5 \pm 0{,}1$	0,160	0,054	0,035
I	$11{,}5 \pm 0{,}2$	0,310	0,120	0,074
J	$5 \pm 0{,}1$	0,160	0,054	0,035
K	$23{,}4 \pm 0{,}2$	0,310	0,120	0,074
L	R58,4±0,3	0,460	0,190	0,120
M	R2±0,1	0,160	0,054	0,035

- Pro všechny rozměry kromě rozměru **J** platí, že s opotřebením se rozměr na součásti zvětšuje. Výpočet bude proveden na rozměru **G** a hodnoty pro ostatní rozměry budou uvedeny v tab. 12. Pro rozměry střižníku a střižnice platí:

➢ Pro rozměr na střižnici:

$$A_{cG} = \left(JRG - \frac{P}{2}\right)^{+\delta_e} = \left(15 - \frac{0{,}31}{2}\right)^{+0{,}12} = 14{,}845^{+0{,}12}\ mm \tag{3.23}$$

kde: JRG – jmenovitý rozměr, z tab. 11 odpovídá 15 mm.

➢ Pro rozměr na střižníku:

$$A_{kG} = \left(JRG - \frac{P}{2} - v + \delta_k\right)_{-\delta_k} = \tag{3.24}$$

$$= \left(15 - \frac{0{,}31}{2} - 0{,}058 + 0{,}074\right)_{-0{,}074} = 14{,}861_{-0{,}074}\ mm$$

Tab. 13 Vypočtené a navržené rozměry střižníku a střižnice při vystřihování pro zvětšující se rozměry.

Rozměr	Vypočtený rozměr střižnice Ac	Vypočtený rozměr střižníku Ak	Navržený rozměr střižnice Ac	Navržený rozměr střižníku Ak
G	$14{,}845^{+0{,}12}$	$14{,}861_{-0{,}074}$	$14{,}85^{+0{,}12}$	$14{,}86_{-0{,}07}$
H	$4{,}92^{+0{,}054}$	$4{,}897_{-0{,}035}$	$4{,}92^{+0{,}05}$	$4{,}90_{-0{,}04}$
I	$11{,}345^{+0{,}12}$	$11{,}361_{-0{,}074}$	$11{,}35^{+0{,}12}$	$11{,}36_{-0{,}07}$
K	$23{,}245^{+0{,}12}$	$23{,}261_{-0{,}074}$	$23{,}25^{+0{,}12}$	$23{,}26_{-0{,}07}$
L	$58{,}17^{+0{,}19}$	$58{,}232_{-0{,}12}$	$58{,}17^{+0{,}19}$	$58{,}23_{-0{,}12}$
M	$1{,}92^{+0{,}054}$	$1{,}897_{-0{,}035}$	$1{,}92^{+0{,}05}$	$1{,}90_{-0{,}04}$

- Rozměr **J** se s opotřebením na součásti zmenšuje, a tomu odpovídá výpočet rozměru střižnice a střižníku:
  - Pro rozměr na střižnici:

$$A_{cJ} = \left(JRJ + \frac{P}{2}\right)_{-\delta_e} = \left(5 + \frac{0{,}16}{2}\right)_{-0{,}054} = 5{,}08_{-0{,}054}\ mm \tag{3.25}$$

    kde: JRJ – jmenovitý rozměr, z tab. 11 odpovídá 5 mm.

  - Pro rozměr na střižníku:

$$A_{kJ} = \left(JRJ + \frac{P}{2} + v\right)^{+\delta_k} = \left(5 + \frac{0{,}16}{2} + 0{,}058\right)^{+0{,}035} = 5{,}138^{+0{,}035}\ mm \tag{3.26}$$

Z vypočtených rozměrů střižnice $5{,}08_{-0{,}054}\ mm$ a střižníku $5{,}138^{+0{,}035}\ mm$ jsou navrženy rozměry střižnice $5{,}08_{-0{,}05}\ mm$ a střižníku $5{,}14^{+0{,}04}\ mm$.

3.2.2 Kontrola střižníku a střižnice

Pro správný návrh nástroje a jeho funkčních částí je nezbytné provést základní pevnostní výpočty:

- Střižník – pro vystřižení součásti bude zapotřebí čtyř střižníků. Střižník je nutné zkontrolovat na otlačení a k tomu je dále nutné stanovit dovolené napětí. Výpočet bude proveden pro nejmenší z nich, a tudíž se bude jednat o střižník o Ø15 mm. Dle (2.19) dovolené napětí odpovídá:

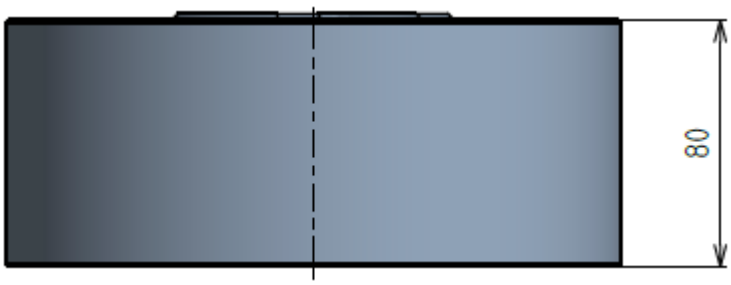
$$\sigma_{dov} = \frac{F_{s3}}{S_{st3}} = \frac{\mathrm{l_3 \cdot t \cdot n} \cdot \tau_s}{\frac{\pi \cdot d_3^2}{4}} = \frac{47{,}12 \cdot 6 \cdot 1{,}2 \cdot 361{,}9}{\frac{\pi \cdot 15^2}{4}} = 694{,}85\ MPa$$

  Jelikož dovolené napětí vyšlo rovné hodnotě 695 MPa, což je větší než 180 MPa, je nutné použít opěrnou kalenou desku, a to z toho důvodu, aby se zabránilo otlačení od střižníku na dosedací ploše.

- Střižnice – navrženou střižnici je nutné zkontrolovat vzhledem k namáhání od ohybu. Minimální výška střižnice se stanoví dle (2.20):

$$H = \sqrt[3]{0{,}1 \cdot F_s} = \sqrt[3]{0{,}1 \cdot 3391282} = 69{,}74\ mm$$

  Při porovnání s navrženou výškou střižnice, která dle obr. 56 odpovídá 80 mm, je možné prohlásit, že výška dané střižnice vyhovuje.



Obr. 56 Výška střižnice.

3.3 Volba stroje

Pro výrobu součásti je zvažováno použití lisu FB one 7000 (obr. 57). Jelikož je při návrhu stroje nutné zvážit mnoho faktorů tak, aby odpovídal všem potřebným parametrům, je třeba ověřit, zda je daný stroj splňuje všechny kladené požadavky a zda je schopen zajistit výrobu dané součásti. Přední roli zde jako důležitý faktor sehrává celková maximální síla, kterou je stroj schopen zajistit a jež by měla být větší než celková síla, kterou je potřeba vyvinout pro tvářecí proces. Byla stanovena na 4680,4 kN, a jelikož dle tab. 13 daný lis dosahuje síly až 7000 kN, potřebnou sílu zajišťuje. Dalším faktorem, který je nutné brát v úvahu, jsou také rozměry pásu, které nesmí být s ohledem na rozměry stroje příliš velké. Tloušťka pásu plechu byla stanovena na 6 mm a šířka 97,7 mm. Pro využití FB one 7000 by měla být dle tab. 14 maximální tloušťka plechu maximálně 16 mm a šířka 450 mm, z čehož plyne, že i z daného pohledu stroj vyhovuje. Při návrhu stroje bude zohledněna rovněž velikost pracovního prostoru lisu, kde bude vložen samotný navržený nástroj. Po zvážení všech daných faktorů byl pro výrobu součásti zvolen lis FB one 7000.

Tab. 14 Technické parametry lisu FB one 7000. [42; 43]

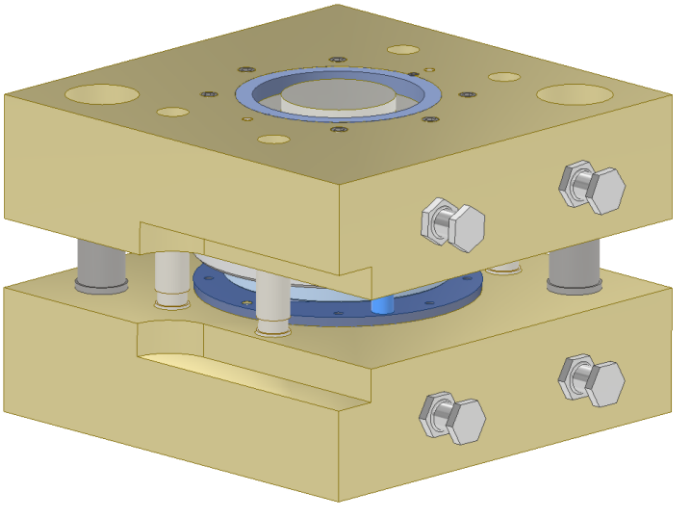
Parametr	Hodnota	Jednotka
Celková síla	7000	kN
Sevření lisu	320 - 440	mm
Počet zdvihů za minutu	85	1/min
Maximální šířka pásu	450	mm
Maximální tloušťka pásu	16	mm
Horní upínací část	760x790	mm
Stůl	760x790	mm

Obr. 57 FB one 7000 [44].

3.4 Návrh nástroje

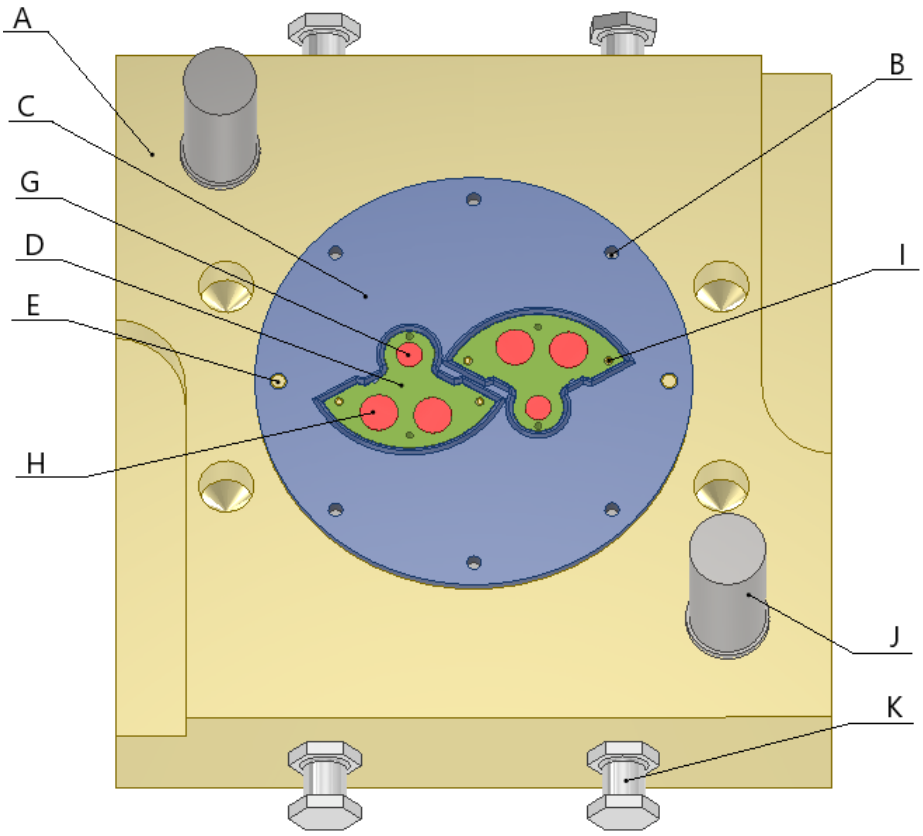
Vzhledem k tomu, jaký má součást tvar a rozměr, je zvoleno konstrukční řešení v podobě pohyblivého střižníku a pevného přidržovače. Nástroj byl konstruován dle směrnice od společnosti Zbrojovka Brno, jež se týká konstrukce střižného nástroje pro přesné stříhání, a dále také s využitím normálií od společnosti Fibro [32; 45]. Nástroj je navržen s ohledem kladeným na kompatibilitu se zvoleným strojem FB one 7000, přičemž konstrukce nástroje je navržena tak, že odpovídá zvolenému nástřihovému plánu, dle kterého budou při jednom zdvihu vystřiženy dvě součásti.

Nástroj v sevřeném stavu, jenž je znázorněn na obr. 58, je složen ze dvou částí – horní a spodní. Dané části jsou pomocí šroubů a kolíků upnuty k masivnímu rámu, který tedy představuje základová a upínací deska. Obě části jsou vzájemně spojeny pomocí dvou vodících sloupků, jež zajišťují přesné vedení nástroje s tím, že mají rozdílné průměry, a to z toho důvodu, aby tak bylo možné zajistit správné smontování nástroje, a tedy aby nemohlo dojít ke smontování obráceně.

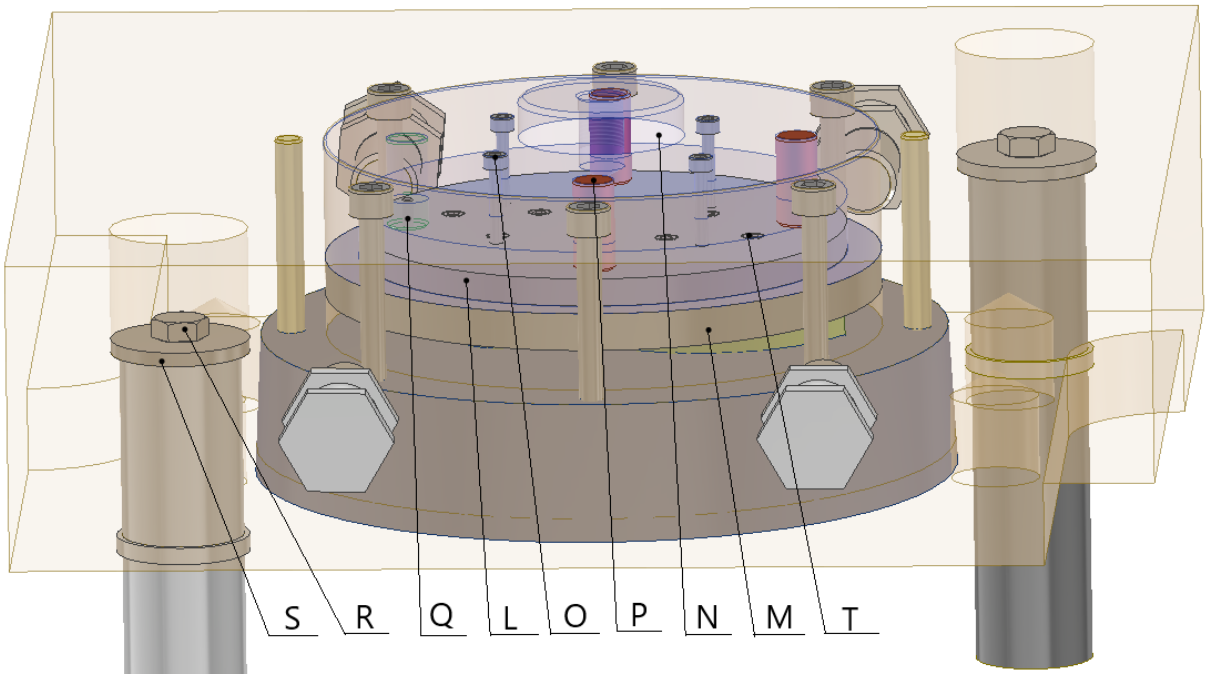


Obr. 58 Nástroj v sevřeném stavu.

Spodní část nástroje je uložena v základové desce (obr. 59A), která je pomocí šesti šroubů (obr. 59B) připojena k přidržovači (obr. 59C). Přidržovač plní funkci zajišťování vedení obrysových střižníků (obr. 59D). Společně se střižnicí je jejich prostřednictvím svírán stříhaný materiál. Dále se na přidržovači vyskytuje tlačná hrana, jež slouží pro zajištění trojosé tlakové napjatosti. K zajištění toho, že nedojde k pootočení, je přidržovač pevně spojen se základovou deskou pomocí dvou kolíků (obr. 59E). Obrysové střižníky jsou vedeny smykově bez vůle a jejich rolí je zajištění vystřižení vnějšího obrysu součásti. Není to však jejich výlučnou úlohou, neboť slouží také k vedení vyhazovačů (obr. 59G, H). Je-li nástroj ve spodní poloze, vyhazovače vyčnívají zhruba o 0,2 mm nad střižník, a to z toho důvodu, aby bylo účinně zabráněno nalepení jednotlivých odstřižků na vyhazovače. Jsou přišroubovány k desce pro vyhazovače (obr. 60L) pomocí šesti šroubů (obr. 60T), která je se čtyřmi vyrážecími kolíky (obr. 60P) v kontaktu, což je zajištěno čtyřmi šrouby (obr. 60Q). Za pomocí kolíků je nastavena poloha vyhazovačů, která se nemění. Samotné obrysové střižníky jsou pomocí osazení uloženy v kotevní desce (obr. 60M) a pro zajištění správné polohy spojeny dvěma kolíky (obr. 59I). Dále jsou spojeny pomocí čtyř šroubů (obr. 60O) s držákem střižníku (obr. 60N), který slouží k ovládání pohybu obrysového střižníku a je uložen v základové desce. Dále se zde nachází vodící sloupky (obr. 59J), jež jsou zajištěny pomocí šroubů (obr. 60R) a podložek vodících sloupků (obr. 60S) k základové desce. K zajištění snadnější manipulace s nástrojem jsou na základové desce umístěny nosné čepy (obr. 59K).



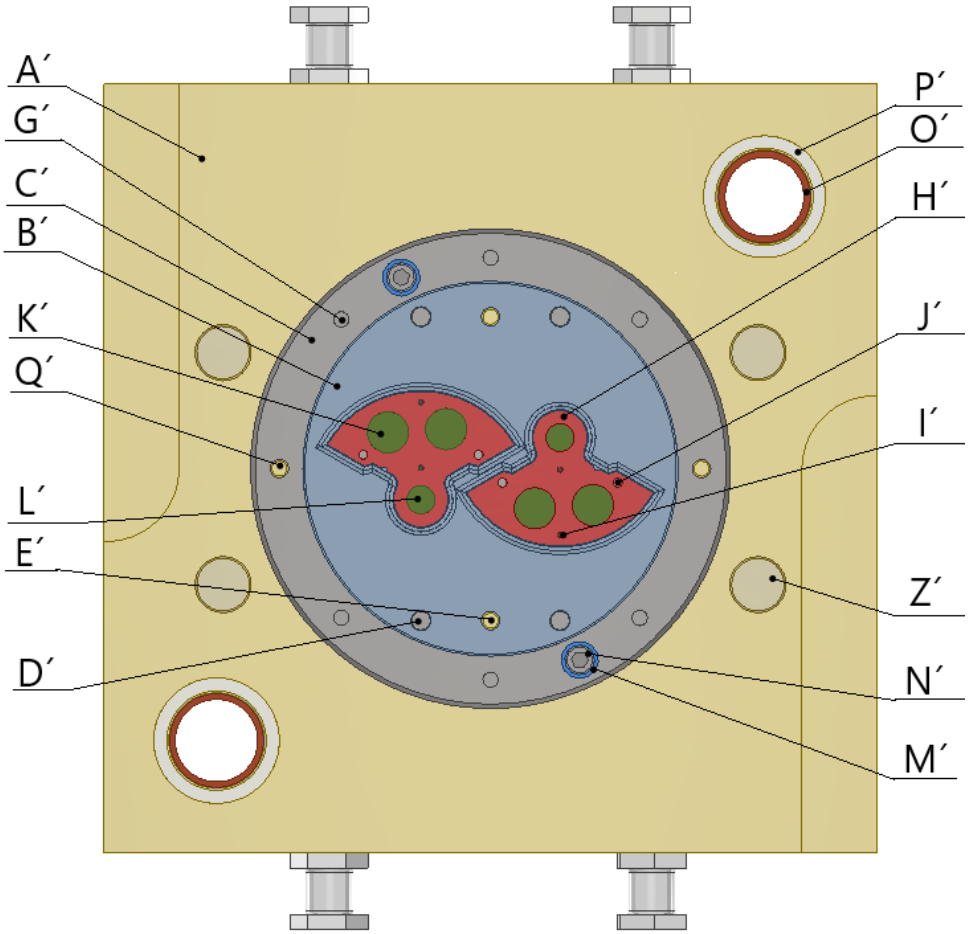
Obr. 59 Spodní část nástroje.



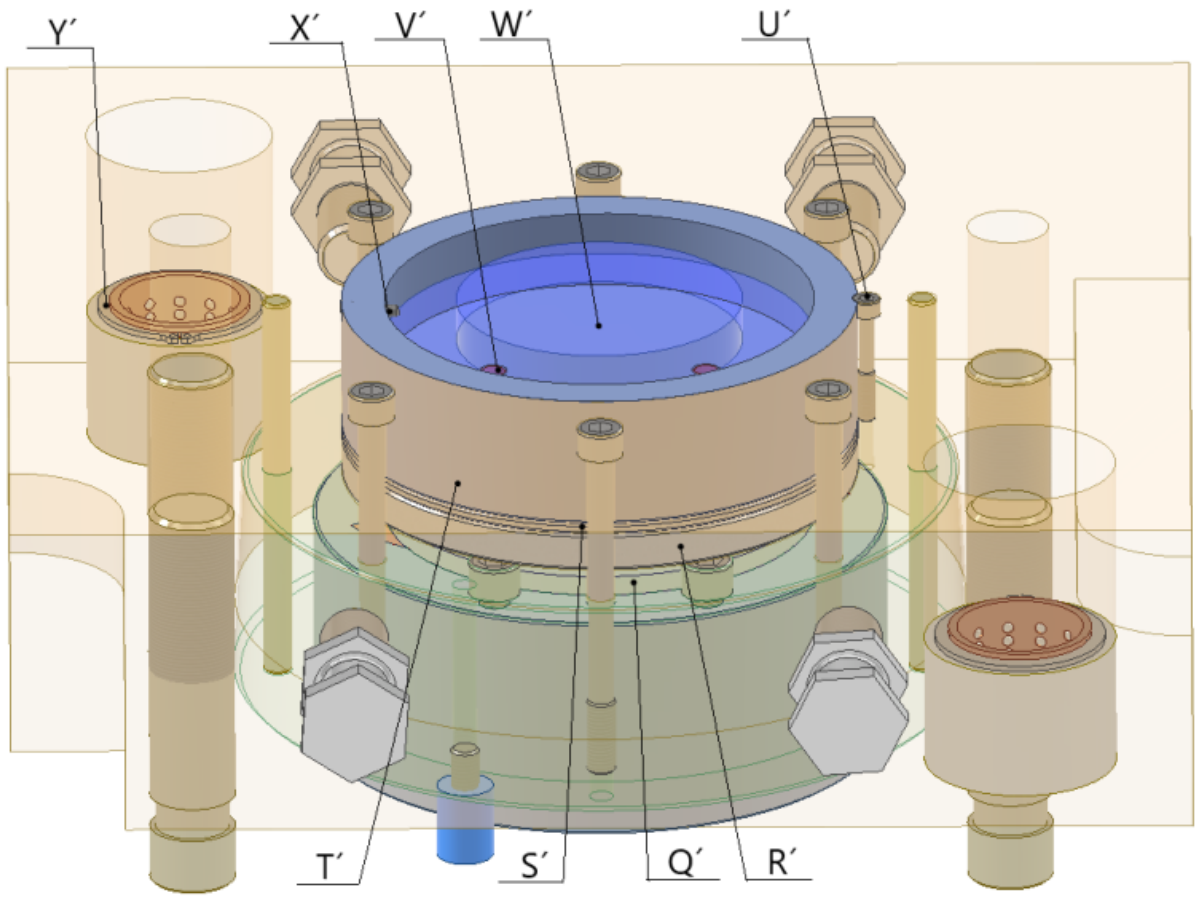
Obr. 60 Montážní detail spodní části nástroje.

Horní část nástroje je uložena v upínací desce (obr 61A´). Střižnice (obr. 61B´), která má obecně rozhodující vliv na přesnost a jakost povrchu výstřižku, je uložena ve zděři (obr. 61C´) a sešroubována prostřednictvím čtyř šroubů (obr. 61D´). Vzhledem k tomu, že je při výrobním procesu předpokládána možná nutnost výměny střižnice, byla zvolena její dělená varianta tak, aby toto bylo zajištěno. Na střižnici se dále vyskytuje tlačná hrana pro zajištění trojosé tlakové napjatosti. Zděř je uložena v upínací desce s přesahem H7/p6. Správná a odpovídající poloha

je zajištěna v případě zděře šesti šrouby (obr. 61G´) a dvěma kolíky (obr. 61Q´) a v případě střižnice kromě šroubů také pomocí kolíků (obr. 61E´). Ve střižnici jsou vedeny obrysové vyhazovače (obr. 61H´), které společně s obrysovým střižníkem svírají stříhaný materiál. Na čele vyhazovače se nachází odtlačovací kolíky (obr. 61I´), které hrají roli v tom, že zabraňují lepení výstřižků na vyhazovač. Vyhazovače jsou spojeny pomocí čtyř šroubů (obr. 61J´) s podložkou vyhazovače (obr. 62Q´). Dále je prostřednictvím vyhazovačů zajišťováno vedení děrovacích střižníků (obr. 61K´, L´), které jsou uloženy v kotevní desce (obr. 62R´). Ta je v kontaktu s kalenou opěrnou deskou (obr. 62S´), která zabraňuje tomu, aby vznikalo otlačení střižníků na podložce (obr. 62T´), a která je za pomoci šroubu (obr. 62U´) zajištěna proti nežádoucímu pootočení. Účelem podložky je mimo jiné regulovat prostor mezi kotevní a upínací deskou. Dále však slouží také k tomu, že zajišťuje vedení tlačných kolíků (obr. 62V´), které za pomoci tlaku působícího na vyhazovače vysunují výstřižek ze střižnice a přenášejí sílu, která zajišťuje rovinnost výstřižku. Přítlačná a vyhazovací síla je přenášena prostřednictvím tlačných kolíků a vyhazovacího kroužku (obr. 62W´), jenž je zajištěn pomocí šroubu (obr. 62X´) proti vypadnutí. Pro bezpečnou manipulaci nástrojem a aby nedošlo k poškození tlačné hrany, je nástroj opatřen dvěma výškovými dorazy (obr. 61M´), které jsou přišroubované pomocí šroubů (obr. 61N´) ke zděři střižnice. Ty se zde nachází jen tehdy, když se s nástrojem manipuluje či když je uskladňován. Dále jsou v upínací desce umístěny vodící sloupky, které jsou vedeny pomocí kuličkových klecí (obr. 61O´), jež jsou uloženy v kuličkových pouzdrech (obr. 61P´). Samotné vodící sloupky jsou zajištěny pomocí pojistných kroužků (obr. 62Y´). Pro zajištění správného vedení pásu plechu a aby nedocházelo k opotřebení tlačné hrany při posuvu pásu jsou v upínací desce čtyři čepy s drážkou, ve které je daný pás veden a nadzvedáván (obr. 61Z´).



Obr. 61 Horní část nástroje.



Obr. 62 Montážní detail horní části nástroje.

Vzhledem ke specifickým vlastnostem procesu je k zajištění vysoké životnosti nástroje ale také pro samotný proces nutné navrhnout rovněž vhodné mazivo. Zvoleno bude mazivo od společnosti Feintool, a to s ohledem na doporučení jeho použití samotnou společností, od níž bude pro výrobu využit i stroj. V tab. 15 jsou uvedena jednotlivá možná maziva, která dodavatel doporučuje.

Tab.15 Doporučená maziva pro přesné stříhání společností Feintool. [46]

Obchodní název	Bez chlóru	Viskozita při 40 °C [mm^2/s]	Max. tl. materiálu [mm]
Wisuro FMO 5020	Ano	110	8
Holifa VP1127	Ano	150	10
Holifa HFF22	Ne	160	14
Wisura FMO 5010	Ano	170	12
Holifa VP1150/250	Ano	250	12

Po uvážení všech parametrů, které je pro využití některého druhu maziva nutné zohlednit. bylo zvoleno mazivo Wisuro FMO 5020. Zvažována byla tloušťka materiálu, jíž dané mazivo odpovídá, neboť je vhodné do tlouštěk maximálně 8 mm, přičemž na dané je tloušťka rovna 6 mm. Jedná se o mazivo, které je bez chlóru a těžkých kovů, což znamená, že nadměrně nezatěžuje životní prostředí a jeho využitím jsou respektovány veškeré požadavky bezpečnosti a zdravotní nezávadnosti pro člověka. Distribuce maziva může probíhat běžně ruční aplikací nebo mechanicky, například válcováním, kartáčkováním či stříkáním. Mezi jeho přednosti patří dále to, má dobrou přilnavost a smáčivost a vysokou odolnost proti tlaku a zároveň také střihovou stabilitu. Pro odmaštění lze využít běžné metody, průmyslové čističe na vodní bázi, popřípadě rozpouštědla [46].

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Pro ověření, zda je zvolená technologie výroby pro startovací segment vhodná, slouží technické zhodnocení. S tím je spjato také ekonomické zhodnocení, díky kterému se stanoví bod zvratu, který odhalí to, při kolika vyrobených kusech se výroba stane ziskovou.

Výchozím krokem při technickém zhodnocení je ověření technologičnosti. Startovací segment se zhotovuje z oceli 11 373, která je pro přesné stříhání velmi vhodná. Při kontrole tvaru výstřižku došlo k úpravě tvaru součásti, protože danou technologií není možné zhotovit šikmé ozubení. Dané ozubení bude následně zhotoveno pomocí třískového obrábění. Nicméně všechny rozměry jsou vyrobitelné, v bezpečné vzdálenosti a další úpravy nebylo nutné provést. Z pohledu technologičnosti tudíž metoda přesného stříhání vyhovuje všem podmínkám výroby.

Startovací segment bude zhotovován na trojčinném hydraulickém lisu FB one 7000. Při dané volbě bylo nutné ověřit, zdali zajišťuje dostatečnou celkovou sílu, zda potřebné rozměry plechu je možné zasunout do pracovní části a také je-li možné, z hlediska rozměrů, do stroje umístit nástroj. Zmíněné hodnoty, tedy celková síla $\mathbf{F_c} = 4680{,}4\ kN$, tloušťka plechu $\mathbf{t}$ = 6 mm, šířka plechu $\mathbf{\check{S}}$ = 97,7 mm, a půdorysná plocha nástroje pro přesné stříhání 412x410 mm, jsou vyhovující. Dále z hodnot sevření lisu, které je v rozpětí 320 až 440 mm, a výšky nástroje, která má v sevřeném stavu výšku 286 mm, lze usoudit, že daný nástroj bude nutné vypodložit, což ovšem nebude problematické, a lze tudíž říci, že zvolený lis vyhovuje všem podmínkám výroby.

Vzhledem k tvaru a rozměrům součásti bylo využito konstrukčního řešení nástroje s pohyblivým střižníkem a pevným přidržovačem, na kterém je tlačná hrana. Ta se vzhledem k tloušťce plechu nachází také na střižnici. Dále byla provedena kontrola nejmenšího střižníku na otlačení a výpočet minimální výšky střižnice. Z daných výpočtů bylo stanoveno, že je nutné využít opěrné kalené desky kvůli otlačení. Jinak byly ostatní podmínky vyhovující.

Vzhledem k možnosti automatizace a k procentuálnímu využití materiálu byl zvolen jako polotovar svitek plechu. K jeho využití je nutné mít odvíjecí zařízení s automatickým podavačem a rovnacím zařízením. Závod je vybaven odvíjecí linkou GLK4, která vyhovuje všem podmínkám výroby.

Z ekonomického hlediska je podstatné zjistit, v jakém okamžiku se nově navržená výroba stává ziskovou. Daný okamžik se označuje jako takzvaný bod zvratu. Před samotným stanovením je nutné říct, že uvažovaný výrobní závod disponuje daným lisem i automatizovanou linkou, tudíž se nebude jednat o hlavní položky nutných investic. Dále je nutné říci, že se jedná o předběžnou kalkulaci nákladů, které jsou spojeny se zavedením výroby zadané součásti. Cílem je stanovení orientační ceny navrženého nástroje a nákladů na výrobu jedné součásti. Vypočtené hodnoty ovšem mají spíše orientační charakter, a to z důvodu obtížné stanovení přesných vstupních hodnot pro výpočty, a tudíž dané výpočty reprezentují jistou metodiku výpočtu požadovaných hodnot. V tab. 16 jsou uvedeny uvažované vstupní hodnoty. [47]

Tab.16 Vstupní hodnoty pro výpočty.

Životnost nástroje (T_S)	3 roky
Roční výrobní dávka (Q)	60 000 ks
Jednicové mzdy (J_M)	100 %
Výrobní režie (V_R)	300 %
Správní reřie (S_R)	100 %
Ostatní přímé náklady (O_{PN})	20 %
Mzdový tarif – obsluha linky (MT_{ol})	150 Kč/h
Mzdový tarif – nástrojář (MT_n)	180 Kč/h

Zpracovatelská režie odpovídá [48]:

$$ZR = J_M + V_R + S_R + O_{PN} = 100 + 300 + 100 + 20 = 520\ \% \qquad (4.1)$$

Dále pro stanovení požadovaných hodnot budou rozděleny náklady na přímé a nepřímé [49].

4.1 Přímé náklady

Jedná se o náklady, které je možné přímo vyjádřit na kalkulační jednici. Do jejich kategorie spadají náklady na materiál, přímé mzdy a ostatní přímé náklady.

4.1.1 Náklady na materiál

Jedním z největších výdajů jsou náklady na polotovar. Jedná se o svitek, který má šířku $\boldsymbol{\check{S}}$ = 97,7 mm, a pro zhotovení 60 000 kusů bude zapotřebí 19 svitků s největším průměrem $\boldsymbol{D_s}$ = 1400 mm a s vnitřním průměrem $\boldsymbol{d_s}$ = 470 mm a 1 svitek s vnitřním průměrem $\boldsymbol{d_s}$ = 470 mm a vnějším průměrem $\boldsymbol{D_{sn}}$=1085 mm. Z daných údajů je možné stanovit celkovou hmotnost zakoupených svitků. Vypočte se jako:

$$m_s = \left[\left(n_{ps} \cdot \pi \cdot \frac{{D_s}^2 - {d_s}^2}{4}\right) + \left(\pi \cdot \frac{{D_{sn}}^2 - {d_s}^2}{4}\right)\right] \cdot \check{S} \cdot \rho_{ocel} \tag{4.2}$$

kde: ρ_{ocel} – hustota oceli, která odpovídá 7850 $[kg \cdot m^{-3}]$.

$$= \left[\left(19 \cdot \pi \cdot \frac{1400^2 - 470^2}{4}\right) + \left(\pi \cdot \frac{1085^2 - 470^2}{4}\right)\right] \cdot 97{,}7 \cdot 7850 \cdot 10^{-9} =$$

$$= 20480\ kg$$

Celková hmotnost zakoupených svitků je tedy 20480 kg. Cena materiálu na 1 kg byla stanovena dle společnosti Atreon na 33,76 $Kč \cdot kg^{-1}$ [50]. Výkupní cena odpadu byla stanovena na 5 $Kč \cdot kg^{-1}$[51]. Ze stanovených údajů je možné stanovit celkovou cenu nakupovaného polotovaru:

$$C_s = m_s \cdot C_m = 20480 \cdot 33{,}76 = 691\,404{,}8\ Kč \tag{4.3}$$

kde: C_m – cena za 1 kg materiálu [Kč]

Cena za všechny svitky bude tedy činit 691 404,8 Kč.

Jak již bylo zjištěno, z daného svitku o průměru 1400 mm je možné vyrobit 3070 výstřižku s využitím materiálu $\boldsymbol{\eta}$ = 54,09 %. Pro neúplný svitek platí, že je možné z něj zhotovit 1688 výstřižků s využitím $\boldsymbol{\eta_{ns}}$ = 54,07 %. Celkový počet výstřižků potom odpovídá:

$$N_{kusc} = n_{ps} \cdot n_v + n_{vn} = 19 \cdot 3070 + 1688 = 60018\ ks \tag{4.4}$$

Ze zakoupených svitků tedy bude zhotoveno 60018 výstřižků. 18 kusů, které jsou tedy nad rámec výrobní série, bude sloužit pro případnou náhradu vadných kusů. Ovšem nebudou dále zohledněny při stanovení zisků.

Dále je možné stanovit cenu výkupního odpadového materiálu:

$$C_{od1} = [n_{ps} \cdot 0{,}01 \cdot (100 - \eta) \cdot S_s + 0{,}01 \cdot (100 - \eta_{ns}) \cdot S_{sn}] \cdot t \cdot \rho_{ocel} \cdot C_{odp} \tag{4.5}$$

kde: C_{odp} – cena vykupovaného odpadového materiálu za 1 kg [Kč].

S_s – plocha svitku $[mm^2]$, která se stanoví jako:

$$S_s = l_s \cdot \check{S} = 227647{,}7 \cdot 97{,}7 = 22241176{,}2\ mm^2 \tag{4.6}$$

kde: l_s – rozvinutá délka svitku [mm], odpovídá:

$$l_s = \pi \cdot \frac{{D_s}^2 - {d_s}^2}{4 \cdot s} = \pi \cdot \frac{1400^2 - 470^2}{4 \cdot 6} = \tag{4.7}$$

$$= 227647{,}7\ mm$$

S_{sn} – plocha svitku neúplného [mm^2], která odpovídá:

$$S_s = l_n \cdot \check{S} = 227647{,}7 \cdot 97{,}7 = 12230344{,}9\ mm^2 \quad (4.8)$$

kde: l_n – rozvinutá délka neúplného svitku [mm], stanoví se:

$$l_n = \pi \cdot \frac{{D_{sn}}^2 - {d_s}^2}{4 \cdot s} = \pi \cdot \frac{1085^2 - 470^2}{4 \cdot 6} = \quad (4.9)$$

$$= 125182{,}56\ mm$$

$$C_{od1} = [19 \cdot 0{,}01 \cdot (100 - 54{,}09) \cdot 22241176{,}2 + +0{,}01 \cdot (100 - 54{,}07) \cdot 12230344{,}9] \cdot 6 \cdot 7{,}85 \cdot 10^{-6} \cdot 5 = 47011{,}68\ Kč$$

Cena odpadu byla stanovena na 47012 Kč. Je však nutné brát v potaz, že u výpočtu využití materiálu se uvažuje plocha plného dílce, a tudíž je nutné zjistit hmotnost materiálu vyděrovaných otvorů na každém dílci. Stanoví se jako:

$$C_{od2} = N_{kusc} \cdot (S_D) \cdot t \cdot \rho_{ocel} \cdot C_{odp} \quad (4.10)$$

kde: S_D – plocha děrovaných otvorů [mm^2], odpovídá:

$$S_D = 2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot {d_2}^2}{4}\right) + \left(\frac{\pi \cdot {d_3}^2}{4}\right) = 2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 22^2}{4}\right) + \left(\frac{\pi \cdot 15^2}{4}\right) = \quad (4.11)$$

$$= 936{,}98\ mm^2$$

$$C_{od2} = 60018 \cdot 936{,}98 \cdot 6 \cdot 7{,}85 \cdot 10^{-6} \cdot 5 = 13243{,}5\ Kč$$

Cena odpadu z materiálu vyděrovaných otvorů byla vypočtena na 13244 Kč.

Celková cena za odpadní materiál odpovídá součtu jednotlivých složek:

$$C_{odc} = C_{od1} + C_{od2} = 47012 + 13244 = 60256\ Kč \quad (4.12)$$

Za celkový vykoupený odpad výrobní podnik obdrží zpátky 60256 Kč.

Celkové náklady na materiál se poté stanoví jako:

$$C_{mat} = C_s - C_{odc} = 691\ 404{,}8 - 60256 = 631148{,}8\ \text{Kč} \quad (4.13)$$

Cena materiálu pro zhotovení jednoho výstřižku je poté:

$$C_{matv} = \frac{C_{mat}}{n_{sér}} = \frac{631148{,}8}{60\ 000} = 10{,}52\ Kč \quad (4.14)$$

Náklady na materiál jednoho výstřižku jsou 10,52 Kč.

4.1.2 Přímé mzdy

Navržená pracovní linka bude obsluhována jedním pracovníkem se stanovenými náklady na přímé mzdy. Dle tab. 13 je lis FB one 7000 schopen pracovat při maximálně 85 pracovních zdvizích za minutu. Z důvodu prostojů vznikajících při výrobě bude pro další výpočet uvažována hodnota $\boldsymbol{n_z} = 77$ zdvihů/min. Pracovním režimem jsou ranní osmihodinové směny $\boldsymbol{t_c} = 8\ h$, kde po odečtení všech neplacených přestávek, času na kontrolu, úklid a výměnu svitků byl čistý pracovní čas stříhání stanoven na $\boldsymbol{t_{stř}} = 6{,}5\ h$. Následně je možné stanovit [48]:

- Počet součástí vyrobených za hodinu:

$$n_{s/h} = n_z \cdot 60 = 77 \cdot 60 = 4620\ ks/h \quad (4.15)$$

- Počet součástí zhotovených za pracovní směnu:

$$n_{s/sm} = n_{s/h} \cdot t_{stř} = 4620 \cdot 6{,}5 = 30030\ ks/směnu \quad (4.16)$$

- Počet směn:

$$n_{sm} = \frac{Q}{n_{s/sm}} = \frac{60000}{29250} = 1{,}998\ ks \tag{4.17}$$

Pro vyrobení celé série o velikosti 60000 kusů bude potřeba 2 pracovní směny.

- Celkový čas pro výrobu série:

$$n_h = n_{sm} \cdot t_c = 2 \cdot 8 = 16\ h \tag{4.18}$$

- Náklady na mzdy:

$$N_M = n_h \cdot MT_{op} = 16 \cdot 150 = 2400\ Kč \tag{4.19}$$

Do nákladů zaměstnavatele je nutné zahrnout náklady spojené s úhradou zdravotního a sociálního pojištění zaměstnanců. V současné době (rok 2023) je výše sociálního pojištění hrazená zaměstnavatelem stanovena na 24,8 % a výše zdravotního pojištění činí 9 %. Stanoví se dle vzorce:

$$N_{SZ} = N_M \cdot (0{,}248 + 0{,}09) = 2400 \cdot 0{,}338 = 811{,}2\ Kč \tag{4.20}$$

- Celkové náklady na mzdy:

$$N_{PMZ} = N_M + N_{SZ} = 2400 + 811{,}2 = 3211{,}2\ Kč \tag{4.21}$$

- Jednicové náklady na přímé mzdy:

$$N_{PMZj} = \frac{N_{PMZ}}{Q} = \frac{3211{,}2}{60000} = 0{,}0535\ Kč/ks \tag{4.22}$$

4.1.3 Ostatní přímé náklady

Jedná se o náklady na energii a paliva určené k technologickým účelům. Jsou zde také zahrnuty náklady na přípravu a záběh výroby, náklady na technický rozvoj daného výrobku a plánované ztráty z nevyhovujících kusů a vadné výroby. [52]

Vychází z nákladů na přímé mzdy a stanoví se jako [48]:

$$N_{OPN} = OPN \cdot N_{PMZ} = 0{,}2 \cdot 3211{,}2 = 642{,}24\ Kč \tag{4.23}$$

Pro jeden kus poté:

$$N_{OPNj} = \frac{N_{OPN}}{Q} = \frac{642{,}24}{60000} = 0{,}0107\ Kč/ks \tag{4.24}$$

4.2 Nepřímé náklady

Pro nepřímé náklady je charakteristické to, že je není možné vztáhnout na kalkulační jednici. Pro konkrétní případ budou do nepřímých nákladů zahrnuty náklady na nástroj, na správní a výrobní režii.

4.2.1 Náklady na nástroj

Pro výrobu navrženého nástroje pro přesné stříhání byla stanovena časová náročnost na $\boldsymbol{T_v} = 290$ hodin. Výroba nástroje bude provedena specializovaným pracovníkem (mzdový tarif – nástrojář MT_n = 180 Kč/h). Následně je možné stanovit [48]:

- Náklady na mzdy:

$$N_{MZN} = T_v \cdot MT_n = 290 \cdot 180 = 52200\ Kč \tag{4.25}$$

- Zpracovatelské náklady:

$$N_Z = N_{MZN} \cdot ZR = 52200 \cdot 5{,}20 = 271440\ Kč \tag{4.26}$$

- Při stanovení zisku nářaďovny bylo uvažováno, že si nářaďovna účtuje 10 % ze zpracovatelských nákladů. Poté platí:

$$Z = 0{,}1 \cdot N_Z = 0{,}1 \cdot 271440 = 27\,144\ Kč \tag{4.27}$$

- Cena materiálu pro výrobu nástroje se skládá ze dvou částí, konkrétněji z materiálu na normalizované díly a nenormalizované. Ceny normalizovaných dílů jsou uvedeny v tab. 17.

Tab.17 Cena normalizovaných součástí. [53; 54; 55; 56; 57; 58]

Název	Počet	Cena [Kč/ks]	Celková cena [Kč]
Pouzdro kul. Ø70 A	1	2324	2324
Pouzdro kul. Ø70 B	1	2468	2464
Pružina	4	23,4	93,6
Pojistný kroužek Ø50	1	4,4	4,4
Pojistný kroužek Ø52	1	3,6	3,6
Kul. Klec Ø42	1	1720	1720
Kul. Klec Ø44	1	1802	1802
Nosný šroub	8	602	4816
Šrouby	44	-	276,4
Celková cena normalizovaných součástí			13504

V případě nenormalizovaných dílů se vychází z ceny materiálu na 1 kg, přičemž hmotnost jednotlivých tříd byla stanovena pomocí aplikace Inventor 2021. Ceny byly stanoveny pro jednotlivé třídy oceli a jedná se o orientačních hodnoty. Byly stanoveny na základě hodnot uvedených v online katalogu od společnosti Ferona a jsou uvedeny spolu s celkovou cenou v tabulce 18.

Tab.18 Cena materiálu pro výrobu nástroje. [59]

Materiál	Cena [Kč/kg]	Hmotnost [kg]	Celková cena [Kč]
Ocel třídy 11	33,7	224,57	7568
Ocel třídy 14	49,95	4,09	204
Ocel třídy 19	117,98	64,27	7583
Normalizované součásti			13504
Náklady na materiál celkem N_{MN}			28859

- Poté náklady na nástroj odpovídají:

$$N_N = N_Z + Z + N_{MN} = 271440 + 271440 + 28859 = 327443\ \text{Kč} \tag{4.28}$$

4.2.2 Výrobní režie

Výrobní režie zahrnuje nákladové položky spojené s řízením výrobního procesu a obsluhou výroby. Největší podíl výrobní režie tvoří obvykle odpisy výrobních zařízení a náklady na jeho údržbu a také opravy a osobní náklady režijních pracovníků. Dále jsou zde zahrnuty náklady na spotřebu netechnologické energie a paliva ve výrobních prostorách. [52]

Stanoví se jako [48]:

$$N_{vR} = VR \cdot N_{PMZ} = 3 \cdot 3211{,}2 = 9\,633{,}6\ Kč \tag{4.29}$$

4.2.3 Správní režie

Představuje náklady na řízení a správu, příkladem jsou odpisy, opravy a údržba správních budov, platy řídících pracovníků, přepravné, cestovné a náklady na režijní palivo a energii [52]. Stanoví se jako [48]:

$$N_{SR} = SR \cdot N_{PMZ} = 1 \cdot 3211{,}2 = 3211{,}2\ Kč \tag{4.30}$$

4.3 Celkové náklady a zisk

Celkové náklady odpovídají součtu všech nákladových položek, tedy [48]:

$$N_C = C_{mat} + N_{PMZ} + N_{OPN} + N_{SR} + N_{vR} + N_N \tag{4.31}$$

$$N_C = 631148{,}8 + 3211{,}2 + 642{,}24 + 3211{,}2 + 9633{,}6 + 327443 = 975290{,}04\ Kč$$

Dále bude počítáno s celkovými náklady 975290 Kč.

Poté jednicové náklady odpovídají:

$$N_{Cj} = \frac{N_C}{Q} = \frac{9752900}{60\,000} = 16{,}25\ Kč \tag{4.32}$$

Nyní je možné stanovit cenu součásti, která se stanoví pomocí ziskové přirážky. Odpovídá 25 % celkových jednicových nákladů [48].

$$C_{sou} = 1{,}25 \cdot N_{Cj} = 1{,}25 \cdot 16{,}25 = 20{,}31\ Kč \tag{4.33}$$

Z dané ceny součásti je dále možné stanovit celkovou tržbu, a to jako [48]:

$$T_C = C_s \cdot Q = 20{,}31 \cdot 60\,000 = 1218600\ Kč \tag{4.34}$$

Zisk tedy odpovídá [48]:

$$Z_C = T_C - N_C = 1218600 - 975290 = 243310\ Kč \tag{4.35}$$

4.4 Stanovení bodu zvratu

Bod zvratu je definován tím, že v daném bodě se rovnají tržby s náklady, a tudíž nevzniká ztráta ani zisk. Stanovuje:

- minimální množství výroby, které zabezpečí rentabilní výrobu,
- minimální využití výrobní kapacity, při které není výroba ztrátová,
- maximální výrobní náklady výrobku, aniž by byl ztrátový,
- při jakém objemu výroby dosahuje podnik maximálního zisku. [47]

Při neměnné ceně a lineárním vývoji nákladů platí, že [47]:

- tržby se vyvíjejí podle:

$$T_C = C_s \cdot Q$$

- a náklady dle:

$$N = F_N + Q \cdot v_n \tag{4.36}$$

Samotné fixní náklady odpovídají [48]:

$$F_N = N_{SR} + N_{vR} + N_N = 3211{,}2 + 9\,633{,}6 + 327443 = 340287{,}8\ \text{Kč} \tag{4.37}$$

Dále variabilní náklady se stanoví jako [48]:

$$v_n = C_{matv} + N_{PMZj} + N_{OPNj} = 10{,}52 + 0{,}0535 + 0{,}0107 = 10{,}584\ Kč \tag{4.38}$$

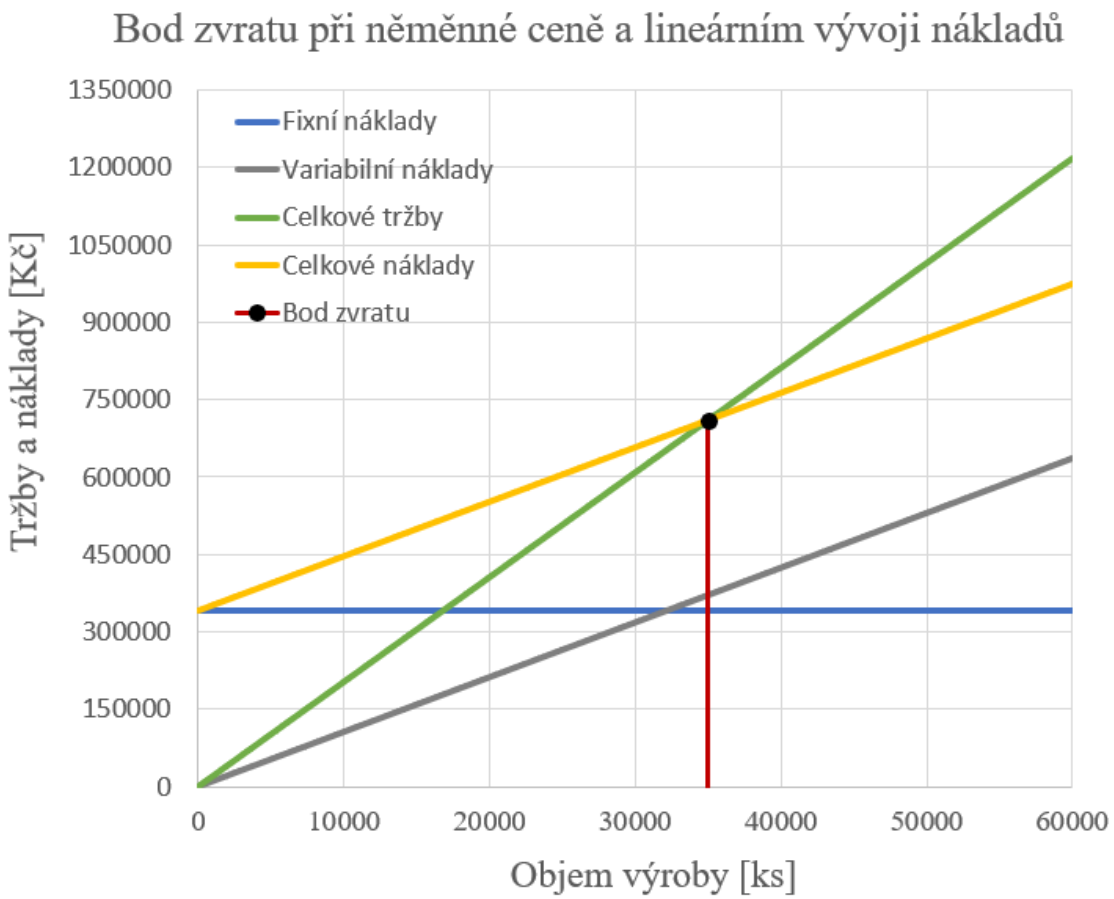
Ze samotné definice bodu zvratu platí:

$$T_C = N \rightarrow C_s \cdot Q = F_N + Q \cdot v_n \tag{4.39}$$

a potom se bod zvratu stanoví jako [47]:

$$Q_0 = \frac{FN}{C_s - v_n} = \frac{340287{,}8}{20{,}31 - 10{,}584} = 34987\ ks \tag{4.40}$$

Bod zvratu vyšel 34 987 ks a je vyobrazen na obr. 63. Lze tedy prohlásit, že výrobní metoda přesného stříhání o velikosti výrobní série 60 000 ks bude zisková.



Obr. 63 Grafické vyjádření bodu zvratu.

ZÁVĚR

Vyráběná součást je startovací segment, jenž je dílem sestavy motocyklu. Konkrétněji tvoří součást převodu mezi startovací pákou a klikovou hřídelí a jeho funkcí je přenášet kroutící moment od startovací páky na další součásti převodu. V současném stavu je do otvoru na součásti navařena hřídel, ale v rámci práce byla navržena inovace, kdy do daného otvoru je hřídel nalisována za studena, což vede k odstranění přidružené operace svařování a urychlení a zpřesnění výroby. K výrobě byla zvolena ocel 11 373 ve formě plechu s tloušťkou 6 mm v rámci výrobní série 60 000 kusů ročně.

Při volbě optimální technologie bylo třeba vzít v úvahu nespočet faktorů. Jednalo se především o rozměrovou a tvarovou přesnost, druh materiálu, drsnost povrchu, tloušťku polotovaru a další. Po kritickém zhodnocení všech relevantních okolností byla pro výrobu startovacího segmentu zvolena technologie přesného stříhání s tlačnou hranou.

Provedením posouzení technologičnosti bylo zjištěno, že vyráběnou součást je možné zhotovit v požadované přesnosti s výjimkou ozubené části, která bude zhotovena v další operaci. Vzhledem k velikosti série bylo stanoveno, že se daný polotovar bude dodávat ve formě svitků, pro které bude využívána odvíjecí linka GLK4. Na daný svitek bylo provedeno rozmístění součásti a stanovení nejvhodnější varianty vzhledem k procentuálnímu využití. Jako nejvhodnější se jevila varianta s procentuálním využitím 54,09 %, přičemž na jeden zdvih stroje byly zhotoveny 2 součásti najednou. Pro danou variantu bylo potřeba zajistit 19 svitků plechu o průměru 1400 mm a 1 neúplný o průměru 1085 mm. Dále byly provedeny technologické a konstrukční výpočty. Na základě velikosti celkové síly 4680,4 kN a rozměru plechu byl pro výrobu startovacího segmentu zvolen hydraulický lis FB one 7000 od společnosti Feintool. Při konstrukci nástroje byl zvolen systém s pohyblivým střižníkem a pevnou přidržovací deskou. Vzhledem k tloušťce plechu byla zhotovena tlačná hrana jak na střižnici, tak i na přidržovači. Z kontrolních výpočtů byly provedeny kontroly minimální výšky střižnice a nejmenšího střižníku na otlačení. Z nich vyplynulo, že bylo nutné využít opěrnou kalenou desku kvůli otlačení. Jinak navržený nástroj vyhovoval všem podmínkám výroby. Pro daný nástroj byla zhotovena výkresová dokumentace, přesněji výkres sestavení a výrobní výkresy střižnice a obrysového střižníku.

Samým závěrem bylo provedeno ekonomické zhodnocení, jehož cílem bylo stanovit orientační ceny navrženého nástroje a náklady na výrobu jedné součásti. Dílna je vybavena danými stroji, a tudíž náklady na ně nejsou zahrnuty v samotném ekonomickém zhodnocení. Hlavní položky představovaly náklady na materiál, kdy na jeden kus činily 10,52 Kč, a na nástroj, které odpovídaly 327443 Kč. Cena jednoho výrobku poté odpovídala 20,31 Kč. Po provedení všech výpočtů bylo zjištěno, že při výrobě 60 000 kusů je možné očekávat zisk ve výši 243310 Kč, přičemž bodu zvratu bude dosaženo při 34987 kusech.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. HLUCHÝ, Miroslav a Jan KOLOUCH. *Strojírenská technologie 1: Nauka o materiálu*. Praha: Scientia, 2007, 266 s. ISBN 978-80-86960-26-5.
2. HLUCHÝ, Miroslav, Jan KOLOUCH a Rudolf PAŇÁK. *Strojírenská technologie 2: Polotovary a jejich technologičnost*. 2. upravené. Praha: Scientia, 2001, 316 s. ISBN 80-7183-244-8.
3. Sheet metal parts. In: *Xhxprecision* [online]. China: Qingdao XingHeXing Precision Industry, 2008 [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: https://xhxprecision.en.made-in-china.com/product/eOPGzwJZAtYj/China-Various-Usage-Customized-Sheet-Metal-Stampings-Progressive-Die-Stamping-Parts-Stamping-Forming-Deep-Drawing-Products.html
4. Why is It Advised to Kick-Start A Motorcycle Before First Using It In The Morning?. *ScienceABC* [online]. Mumbai-India: ScienceABC, 2022 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: https://www.scienceabc.com/innovation/advised-kick-start-motorcycle-before-first-use-morning-self-start-engine-cool.html
5. Startovací segment pro Minarelli. *Pro skútry Malšice* [online]. Malšice: Pro skútry, 2016 [cit. 2022-03-07]. Dostupné z: https://www.proskutry.cz/p/startovaci-segment-pro-minarelli/
6. Mbk Booster Rocket. *Https://auto-zer.com/* [online]. USA: Auto Zer, 2022 [cit. 2022-03-07]. Dostupné z: https://auto-zer.com/page/mbk-booster-rocket/default.html
7. StreetRox Reparatur 2 Neuer Kickstarter (An Welle Verschweißt?) Aerox Nitro Strory. *Youtube* [online]. Německo: Y and J MOTORSPORTS, 2016 [cit. 2022-03-07]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=nyF-Lvesv7Y
8. KLETEČKA, Jaroslav a Petr FOŘT. *Technické kreslení*. 2. opravené vydání. Brno: Computer Press, 2012. ISBN 978-80-251-1887-0.
9. LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. Páté upravené. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.
10. *ČSN 41 1373 - ocel 11 373*. Praha: Český normalizační institut, 1994.
11. SADÍLEK, Marek. *Nekonvenční metody obrábění II*. Ostrava: VŠB – TECHNICKÁ UNIVEZITA OSTRAVA, 2016, 120 s. ISBN 978-80-248-3944-8.
12. What is CNC Punching. *Ametals* [online]. Allen: Ametals, 2021 [cit. 2022-04-08]. Dostupné z: https://www.ametals.com/post/what-is-cnc-punching
13. Plazmové řezání. In: *HBT weld* [online]. České Budějovice: HBT weld, 2015 [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: https://hbt-weld.cz/katalog/plazmove-rezani/
14. Vysekávání plechů. In: *KAVALE* [online]. Kameničky: KAVALE, 2008 [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: https://kavale.cz/vyroba/vysekavani-plechu/
15. *MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM: Pneumatické a hydraulické prvky* [online]. 2008. 2008 [cit. 2022-04-08]. Dostupné z: https://www.mmspektrum.com/clanek/rezani-vodnim-paprskem
16. Vodní paprsek a dělení. In: *Pharmix* [online]. Kroměříž: Pharmix, 2006 [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: https://pharmix.cz/wp-content/uploads/2021/12/IMG_4001-scaled.jpg

17. Laserové řezání a výseky. In: *Vypalto* [online]. Brno: Vypalto, 2014 [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: https://vypalto.cz/laserove-rezani/
18. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření I*. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.
19. Nástroje pro stříhání. In: *Festool* [online]. Česká Lípa: Festool, 2002 [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: http://www.vyrobaforem.cz/cs/strizne_nastroje.html
20. Tvářecí nástroje pro přesné stříhání, děrování, ohýbání, a tažení. In: *Evropská databanka* [online]. Vsetín: ZV – Nástroje, 2016 [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: https://nabidky.edb.cz/Nabidka-44677-Tvareci-nastroje-pro-presne-strihani-derovani-ohybani-a-tazeni
21. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: Plošné a objemové tváření*. Páté. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.
22. TSCHÄTSCH, Heinz. Metal forming practise: processes – machines – tools. New York: Springer-Verlag, c2006. ISBN 35-403-3216-2.
23. Řetězové ozubené kolo. In: *Obchodiště* [online]. Mladá Boleslav: Hyosung, 2008 [cit. 2022-11-19]. Dostupné z: https://www.obchodiste.cz/produkt/19-retezove-ozubene-kolo-rozeta-48t-fig47-hyosung-gv-125/
24. Fine Blanking Parts. In: *Indiamart* [online]. Indie: IndiaMart, 2002 [cit. 2022-11-19]. Dostupné z: https://www.indiamart.com/proddetail/fine-blanking-parts-9336802762.html
25. DVOŘÁK, Milan a kolektiv. *Technologie II*. 3. doplněné. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.
26. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. 1. vyd. Praha: SNTL, Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980. 216 s.
27. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: VUT, 1992. ISBN 80-214-0401-9.
28. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Druhé. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2764-7.
29. NOVOTNÝ, Karel a Zdeněk MACHÁČEK. *Speciální technologie I: Plošné a objemové tváření*. Druhé. Brno: VUT, 1992. ISBN 80-214-0404-3.
30. Akademie tváření: Stříhání. *MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM* [online]. 2010, 2010(6) [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani
31. GUIDI, Alfons, Vladimír HORÁK a Werner FIALA. *Přistřihování a přesné stříhání*. Praha: SNTL, 1969, 138 s.
32. VYSKOČIL, Oldřich a Pavel BARTOŠ. *Směrnice pro konstrukci nástrojů pro přesné stříhání: (učební texty)*. Brno: Zbrojovka Brno, 1977.
33. KAMELANDER, Ivan. *Tvářecí stroje II*. Druhé. Brno: VUT, 1989. ISBN 80-214-1038-8.
34. BEDŘICH, Rudolf a Miloslav KOPECKÝ. *Tvářecí stroje: Základy výpočtů a konstrukce: vysokoškolská učebnice*. Praha: SNTL, 1979.
35. ČADA, Radek. *Technologie I: Objemové a plošné tváření zastudena (návody do cvičení)*. Ostrava: VŠB – TECHNICKÁ UNIVEZITA OSTRAVA, 2009, 89 s. ISBN 978-80-248-2126-9.

36. SCHULER GmbH. *METAL FORMING: HANDBOOK*. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1998. ISBN 3-540-61185-1.
37. High-Speed Servo Feeding Line. In: *He-machine* [online]. China: he-machine, 2020 [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: https://www.he-machine.com/solutions/high-speed-servo-feeding-line/
38. Compact Coil Line Equipment. In: *COE* [online]. Brentwood: COE, 2020 [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: https://cpec.com/applications/compact-lines/
39. Fine blanking. In: *Dsfinetec* [online]. CHANGWON-CITY GYEONGNAM: dsfinetec, 2012 [cit. 2023-02-06]. Dostupné z: http://www.dsfinetec.com/english/technology/fine_blanking.asp
40. Compact Coil Feed Line. In: *Mayflay* [online]. China: Mayflay, 2020 [cit. 2023-03-13]. Dostupné z: https://www.mayflaymachine.com/product/Decoiler_Straightener_Feeder/Compact_Coil_Feed_Line_0660mm_37.html
41. ČSN 22 6015. *Střižnice a střižné vůle*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1975.
42. FB one series. In: *Feintool* [online]. Lyss: Feintool, 2020 [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: https://www.feintool.com/en/products-and-services/complete-press-systems/presses-and-systems/hydraulic-fineblanking-press-fb-one/
43. FEINTOOL. *Technical Data: Hydraulic fineblanking press FB one*. Switzerland, 2021.
44. Feintool. *Fineblanking reinvented* [online]. Lyss: Feintool, 2018 [cit. 2023-03-26]. Dostupné z: https://www.feintool.com/fileadmin/PDF/Brosch%C3%BCren/Broschuere_FB_one_A4_EN_WEB.pdf
45. Normálie katalog 2023. *Fibro* [online]. USA: Fibro, 2023 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: https://www.fibro.de/fileadmin/FIBRO/Blaetterkataloge/NormalienGesamtkatalog_Czech/HTML5/761/
46. Fineblanking Lubricants. *Feintool* [online]. Lyss: Feintool, 2022 [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: https://www.feintool.com/fileadmin/PDF/Brosch%C3%BCren/Feinschneid_Schmierstoffe_EN.pdf
47. JUROVÁ, Marie. *Řízení výroby*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1994. ISBN 80-214-0583-X.
48. KUČERA, Radek. *Výroba části univerzálního otvíráku technologií přesného stříhání*. Brno, 2014. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
49. KRUTINA, Václav a Martina NOVOTNÁ. *Ekonomika podniku: cvičení* [online]. 3. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích Ekonomická fakulta, 2014. ISBN 978-80-7394-455-1.
50. Ocelový plech S235. In: *Atreon* [online]. Čelákovice: Atreon, 2022 [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: https://www.atreon.cz/ocelovy-plech--s235--1x2-m--tloustka-6-mm/

51. Ceník kovů. In: *Mpšrot* [online]. Brno: Mpšrot, 2008 [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: http://www.mpsrot.cz/cenik-kovu/
52. SOUKUPOVÁ, Věra a Dana STRACHOTOVÁ. *Podniková ekonomika*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2005. ISBN 80-7080-575-7.
53. Fibro 2061.44. In: *Ebay* [online]. New Jersey: plc Center Surplus Industrial, 2023 [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: https://www.ebay.com/itm/311842453571
54. Pružina vinutá. In: *Meteza* [online]. Havlíčkův Brod: Meteza, 2020 [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: https://www.mateza.cz/pruzina-vinuta-tlacna-d-d-5-4-0-9-mm-l-11-mm?gad=1&gclid=Cj0KCQjwmN2iBhCrARIsAG_G2i6u3vOMLnGRKSbyNKKz7lgpjBZzBN1Mxm7onwVZjQk9nC_s_zf7G5QaAhYYEALw_wcB
55. Pojistné kroužky. In: *Spojovací-materiály* [online]. Hrušovany nad Jevišovkou: Spojovací-materiály, 2008 [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: http://www.spojovaci-material.net/sp/pojistne-krouzky-trmeny/segrovky/din-471-na-hridel/
56. Fibro 206.71. In: *Reling* [online]. Trnava: reling, 2020 [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: https://reling.sk/sk/specialne/20633-fibro-206-71-019-071.html
57. Nosný šroub. In: *Meusburger* [online]. Austrálie: meusburger, 2018 [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: https://www.meusburger.com/CS/CZ/dilenske-potreby/lifting-equipment/lifting-accessories/e-1280
58. Šrouby s válcovou hlavou imbus. In: *Prumex* [online]. Hrušovany nad Jevišovkou: Prumex, 2020 [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: https://www.prumex.cz/spojovaci-material-srouby-s-valcovou-hlavou-imbus-din-912/
59. Ferona online. In: *Ferona* [online]. Praha: Ferona, 2023 [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: https://online.ferona.cz/

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symboly

Označení	Legenda	Jednotka
A	šířka součásti	[mm]
A_5	tažnost	[%]
A_c	celková práce	[J]
$A_{c(x)}$	rozměr střižnice pro rozměr (X)	[mm]
$A_{k(x)}$	rozměr střižníku pro rozměr (X)	[mm]
A_p	práce přidržovače	[J]
A_s	práce střižná	[J]
A_v	práce vyhazovače	[J]
a	vzdálenost tlačné hrany od obrysu	[mm]
a_{min}	Minimální vzdálenost otvorů od kraje	[mm]
B	výška součásti	[mm]
b	šířka zářezu	[mm]
b_1	vzdálenost od okraje	[mm]
b_2	můstek	[mm]
b_E	šířka stažení hrany	[mm]
C_m	cena za 1 kg materiálu	[Kč]
C_{mat}	celkové náklady na materiál	[Kč]
C_{matv}	cena materiálu na jeden výstřižek	[Kč]
C_{od1}	cena výkupního odpadového materiálu	[Kč]
C_{od2}	cena výkupního odpadového materiálu vyděrovaného	[Kč]
C_{odc}	celková cena za odpadní materiál	[Kč]
C_{odp}	výkupní cena odpadu	[Kč]
C_s	celková cena nakupovaného polotovaru	[Kč]
C_{sou}	cena součásti	[Kč]
c	součinitel závislý na druhu stříhání	[-]
D_s	vnější průměr svitku	[mm]
D_{sn}	vnější průměr neúplného svitku	[mm]
d_{min}	minimální průměr otvoru	[mm]
d_s	vnitřní průměr svitku	[mm]
F_c	celková síla	[N]
F_N	fixní náklady	[Kč]
F_p	síla přidržovače	[N]
F_s	střižná síla	[N]
F_v	síla vyhazovače	[N]
H	minimální výška střižnice	[mm]
h	výška tlačné hrany	[mm]
h_1	odlehčení za tlačnou hranou	[mm]
h_E	výška stažení hrany	[mm]
JM	jednicové mzdy	[%]
JR(X)	jmenovitý rozměr (X)	[mm]
K	velikost kroku	[mm]
KV	minimální nárazová práce	[J]
L_h	délka nátlačné hrany	[mm]
l	délka křivky střihu	[mm]
l_n	délka neúplného svitku	[mm]
l_o	potřebná délka pro zavedení pásu	[mm]

Označení	Legenda	Jednotka
l_s	délka svitku	[mm]
MT_N	Mzdový tarif nástrojář	[Kč/h]
MT_{ol}	mzdový tarif obsluhy linky	[Kč/h]
m_s	celková hmotnost zakoupených svitků	[kg]
N_C	celkové náklady	[Kč]
N_{Cj}	jednicové celkové náklady	[Kč]
N_{kusc}	celkový počet výstřižků	[ks]
N_M	náklady na mzdy	[Kč]
N_{MN}	náklady na materiál nástroje	[Kč]
N_{MZN}	náklady na mzdy nástrojář	[Kč]
N_N	náklady na nástroj	[Kč]
N_{OPN}	náklady na ostatní přímé náklady	[Kč]
N_{OPNj}	jednicové náklady na ostatní přímé náklady	[Kč]
N_{PMZ}	celkové náklady na mzdy	[Kč]
N_{PMZj}	jednicové náklady na přímé mzdy	[Kč]
N_{SR}	náklady na správní reřie	[Kč]
N_{SZ}	náklady na sociální a zdravotní pojištění	[Kč]
N_{VR}	náklady na výrobní režie	[Kč]
N_Z	zpracovatelské náklady	[Kč]
n	součinitel otupení	[-]
n_h	celkový čas pro výrobu série	[h]
n_{ps}	celkový počet potřebných svitků	[ks]
$n_{s/h}$	počet součástí zhotovených za hodinu	[ks/h]
$n_{s/sm}$	počet součástí zhotovených za pracovní směnu	[ks/směnu]
n_{sm}	počet směn	[ks]
n_v	počet výstřižků z jednoho svitku	[ks]
n_{vn}	počet výstřižků z neúplného svitku	[ks]
nz	Počet zdvihů za minutu	[zdvih/min]
O_x	obvod (X)	[mm]
OPN	ostatní přímé náklady	[%]
P	přípustná míra opotřebení	[mm]
p	měrný tlak	[MPa]
Q	roční výrobní dávka	[ks]
Q_0	bod zvratu	[ks]
R_e	mez kluzu	[MPa]
R_m	mez pevnosti v tahu	[MPa]
S	střižná plocha	[mm^2]
S_D	plocha děrovaných otvorů	[mm^2]
S_p	plocha polotovaru	[mm^2]
S_R	správní režie	[%]
S_s	plocha svitku	[mm^2]
S_{sn}	plocha svitku neúplného	[mm^2]
S_{st}	opěrná plocha střižníku	[mm^2]
S_v	plocha výstřižku	[mm^2]
S_{vp}	plocha plné součásti	[mm^2]
Š	šířka plechu	[mm]
T_C	celková tržba	[Kč]
T_S	životnost nástroje	[roky]
T_V	časová náročnost	[h]

Označení	Legenda	Jednotka
t	tloušťka plechu	[mm]
t_c	pracovní režim	[h]
$t_{srř}$	čistý pracovní čas	[h]
VR	výrobní režie	[%]
v	střižná vůle	[mm]
v_n	variabilní náklady	[Kč]
W_1	minimální vzdálenost mezi otvory	[mm]
W_2	minimální rozměr mezi drážkou a otvorem	[mm]
Z	Zisk nářaďovny	[Kč]
Z_C	celkový zisk	[Kč]
Z_R	zpracovatelská režie	[%]
z	střižná mezera	[mm]
z_{ob}	přibližná střižná mezera	[mm]
Δσ3	přídavné tlakové napětí	[MPa]
β	úhel nátlačné hrany	[°]
γ	úhel nátlačné hrany	[°]
δ_e	výrobní tolerance střižnice	[mm]
δ_k	Výrobní tolerance střižníku	[mm]
η	součinitel využití materiálu	[%]
η_{ns}	součinitel využití neúplného svitku	[%]
ρ_{ocel}	hustota oceli	[kg· m^{-3}]
σ_1	tahové hlavní napětí	[MPa]
σ_3	tlakové hlavní napětí	[MPa]
σ_{dov}	dovolené napětí	[MPa]
σ_n	normálová složka napětí	[MPa]
τ_{max}	maximální smykové napětí	[MPa]
τ_s	střižný odpor	[MPa]

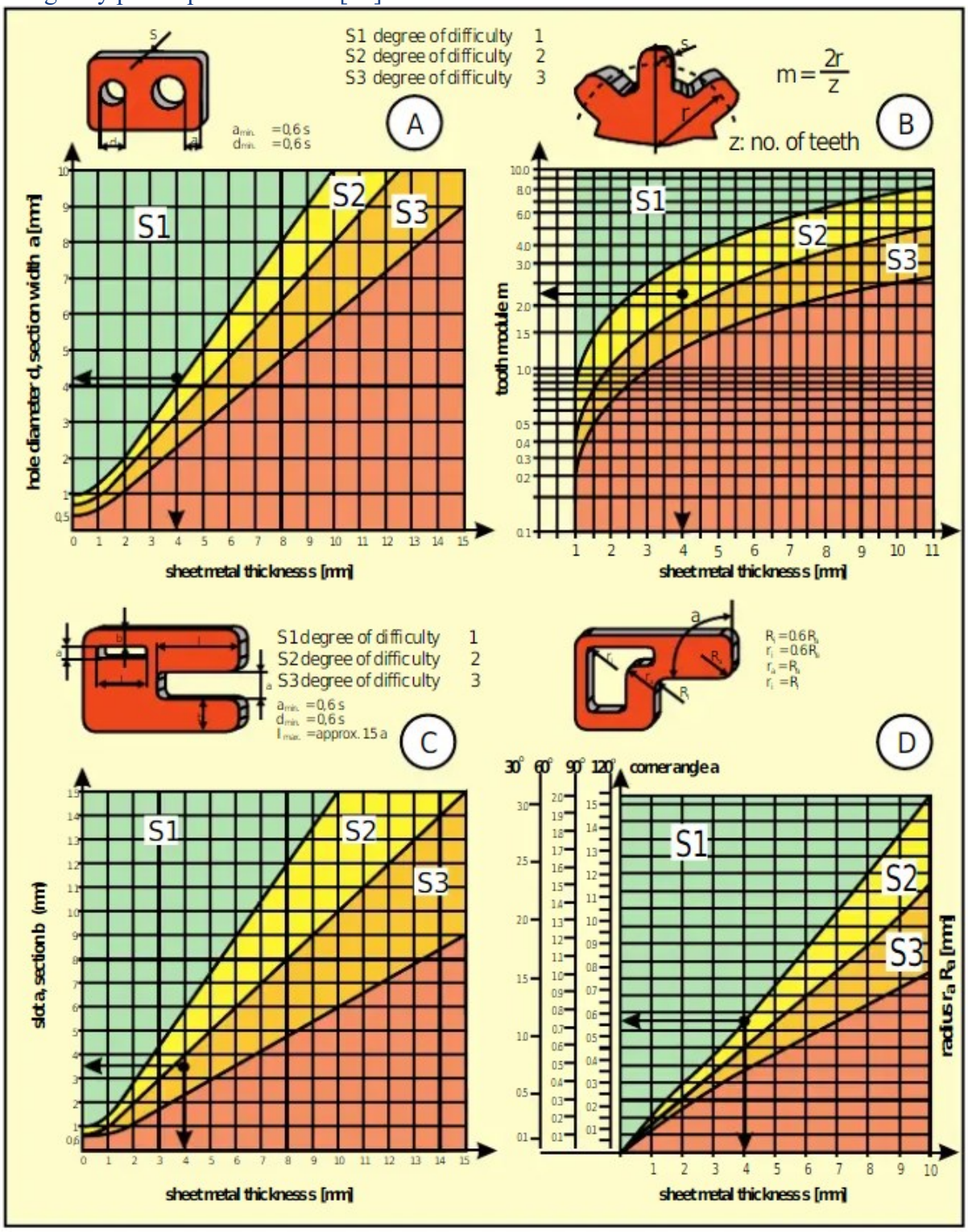
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Diagram pro stupeň obtížnosti [36]
Příloha 2 Odvíjecí linka GLK4 [40]

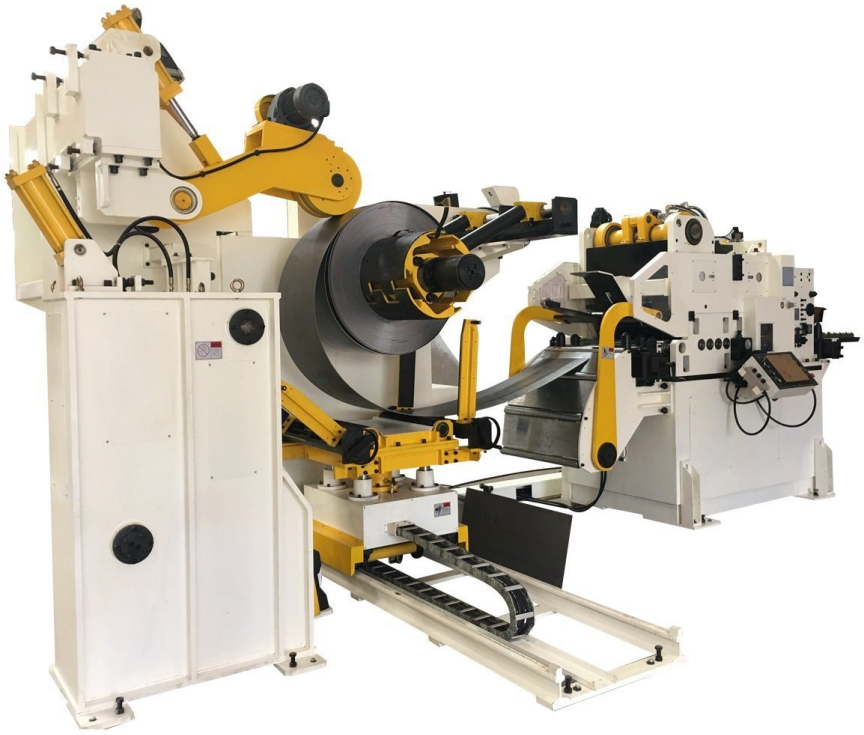
SEZNAM VÝKRESŮ

Startovací segment	2023-DP-213014-01
Střižný nástroj	2023-DP-213014-02
Kusovník	2023-DP-213014-03-1
Kusovník	2023-DP-213014-03-2
Kusovník	2023-DP-213014-03-3
Kusovník	2023-DP-213014-03-4
Obrysový střižník	2023-DP-213014-04
Střižnice	2023-DP-213014-05

Diagramy pro stupeň obtížnosti [36]



Odvíjecí linka GLK4 [40]



Model	MFL4-400	MFL4-500	MFL4-600	MFL4-800	MFL4-1000	MFL4-1300
Stock Width(mm)	70~400	70~500	70~600	70~800	70~1000	70~1300
Stock Thickness(mm)	0.6~6.0					
Max.Coil Weight(kg)	5000	5000	5000	7000	7000	1000
Max.Coil O.D.(mm)	1400					
Coil I.D.(mm)	ϕ470-520					
Feed Length(mm)	~500*					
Max.Line Speed(m/min)	16~24					
Straightener Rolls(piece)	ϕ68mm*7(upper4/ lower 3)					
Feed Rolls (piece)	ϕ88mm*2 (upper 1/ lower 1)					
Back-up Rolls (piece)	ϕ68mm*220mm*3 Groups					
Main Motor	AC5.5	AC5.5	AC7.5	AC7.5	AC11	AC11
Mandrel Expansion	Hydrauilc					
Reel Motor(kw)	2.2	2.2	2.2	3.7	3.7	7.5
Power(v)	3 Phase 220V/380V/440V/50HZ					
Operating Air(Mpa)	0.49					